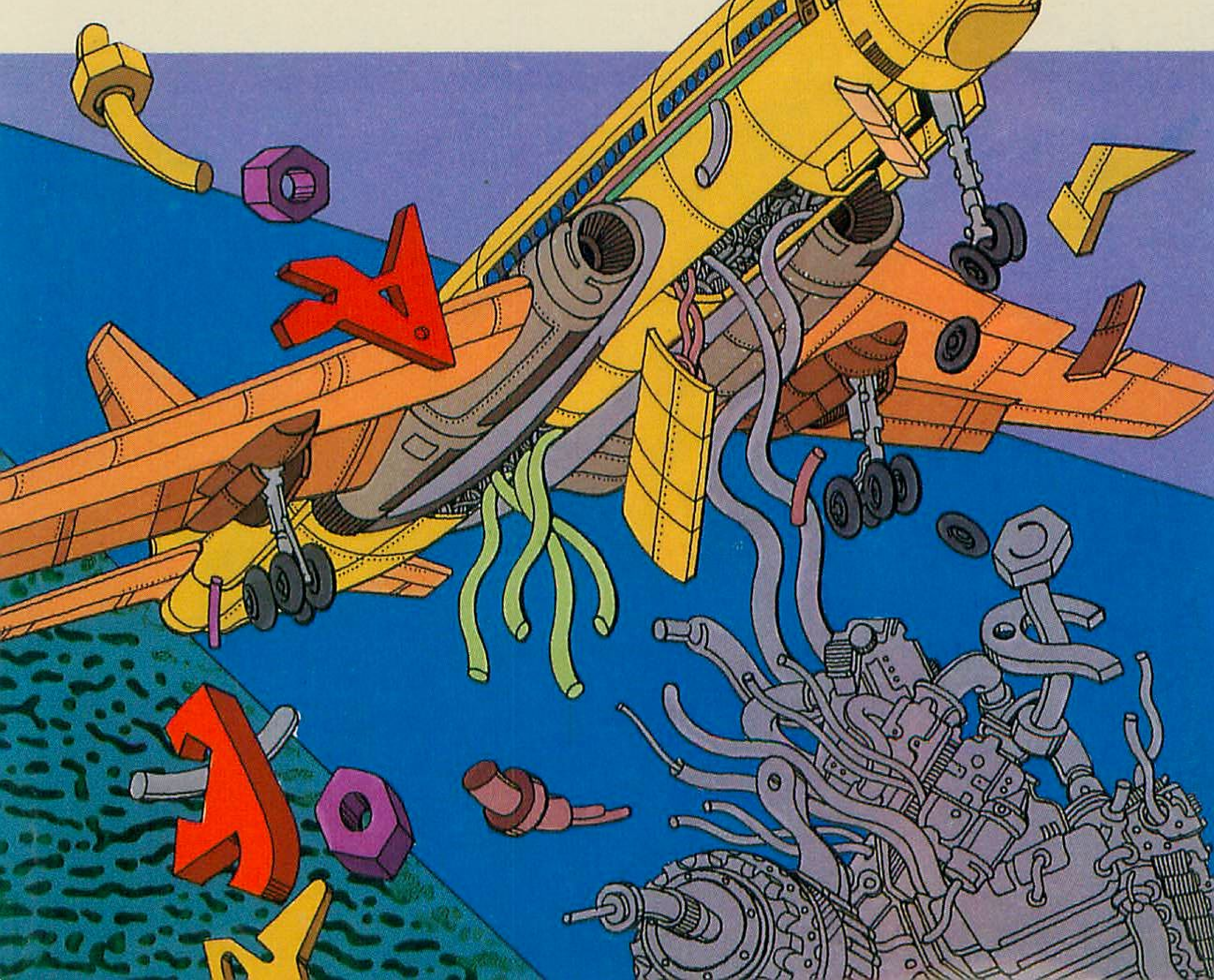
BLUE BACKS

# 飛行機はなぜ落ちるか

設計者からみた航空システムの安全性

遠藤 浩

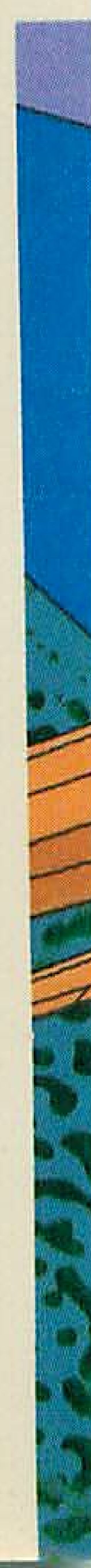
Endou Hiroshi



**凍りついた翼が墜落を呼ぶことはわかった。**
**では、それで事故はなくなったか？**

かつて、短中距離航空機の墜落事故が寒冷地で続出したことがあった。調査の結果、尾翼に氷が着き、失速したことがわかった。当時、主翼やエンジンの空気取り入れ口の着氷のみが注目されていて、尾翼着氷はわからなかったのだ。その後、スウェーデンと旧ソ連の共同研究によって、この尾翼着氷のメカニズムは、ほぼ解明された。それにも関わらず、事故は繰り返すのである。たとえば一九九二年、ニューヨークで着氷による離陸失敗事故を起こしたUSエアのF二八型機の場合、主翼、尾翼とも離陸中の防氷装置の使用を禁じられていたという。なぜだろうか……





# 飛行機はなぜ落ちるか

## 設計者からみた航空システムの安全性

遠藤　浩 著

ブルーバックス



装幀：芦澤泰偉
図版：さくら工芸社
扉絵：奈和浩子
カバー絵：富田勉

# はじめに

一九三一年、フランスで『夜間飛行』という小説が出版された。著者はパイロットでもあったサン・テグジュペリで、序文をアンドレ・ジイドが書いている。その中でジイドは、次のようにいっている。

「科学者が未来の戦争の災禍として今日われらに示すものから察するに、どうやら人間の武勇の美徳のごときは今後用いどころもなくなりそうで、武勇の精神がようやく軍隊から失われようとしている現在、人が人間の勇気の最も華々しく、最も有効に発揮される場合をみるのは、実に航空事業においてではあるまいか」

これは、ハイテク兵器を使って押しボタンで行われる将来型の戦争では、大胆も不敵も要らないが、絶えず生命を危険にさらさねばならない操縦士には真の勇気と呼ばれるものが必要である、といっているのである。しかし、今日の航空機は、性能も信頼性も当時に比べ格段に向上したから、郵便飛行のパイオニアたちが毎夜、命がけで飛行に挑まなければならなかったような状況はない。だから、航空輸送でジイドがいったような武勇の精神が日常的に発揮されているとは考えられない。それでは、今日、パイロットに要求される美徳とは何なのであろうか。

以前は、米国を代表するエアラインの一つであったパン・アメリカン航空のウイリアム・モスという機長は、初期のジェット輸送機の事故を調べ、パイロットのミスの多くが劣悪な航行援助施設や航空管制などの、コックピット外の原因によって誘発されていることを知った。

「だが」とこの機長はいう。「そうした誘発要因はあるにしても、乗員がその事故の発生を予防しなかったという事実は依然として残る。私にいわせれば、乗員の主要任務は設計者、整備員その他の人々の失敗に対処することなのだ。そのためにこそ、飛行機は完全に自動化されてはいないのである」

今日では、このことを「パイロットは航空安全の最後の砦」と表現している。

もう一つの考え方は、ルフトハンザ航空のシーザー機長の述べた次の意見に代表される。

「優れたパイロットとは優れた判断によって、特別に優れたスキルを発揮しなければならない状況を回避し、トラブルに巻き込まれないパイロットのことである」

前者の考え方は「危機対応能力」に、後者は「危機回避能力」に主眼を置いているが、いずれにしても、今日のパイロットに要求されているのは危機管理能力のようである。それでは、今日、この危機はどのようなものであろうか。

自然現象、機体構造の破壊、エンジン故障、パイロット・ミスなど特定の原因で起きる事故もあるが、最近ではシステム性事故と呼ばれる複合した原因によって起こる事故が増えてい

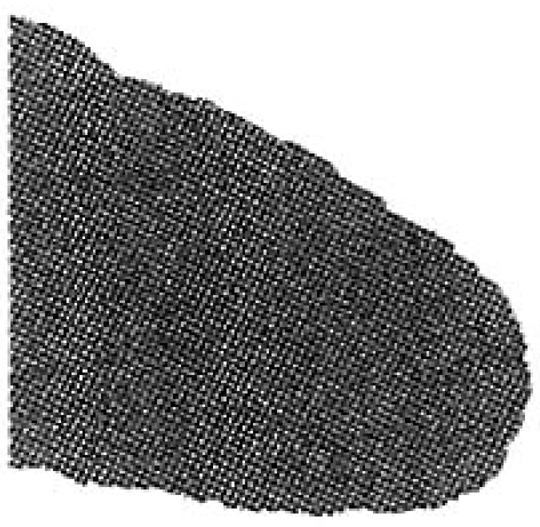
る。航空輸送は今や巨大技術である。そのトータル・システムは、航空機の設計、製造、整備、運航に関わる組織をはじめ、空港や航行支援設備などのインフラストラクチュアに至るまでの多くのサブシステムによって構成される。そのサブシステムのどれかに発生した小さな事故でも、他のサブシステムのエラーと複合すると、システム全体の大事故に発展する。これがシステム性事故である。

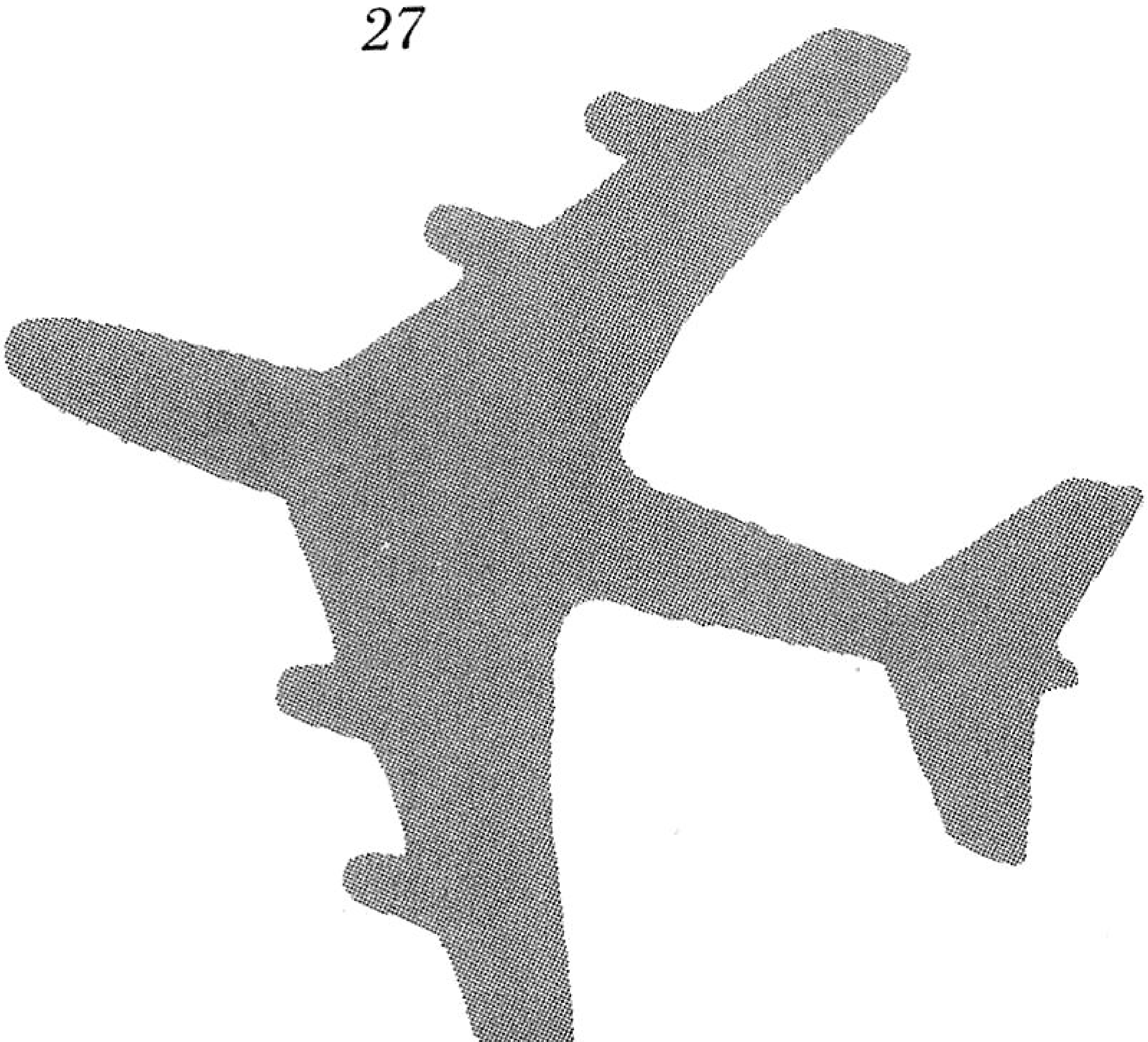
このような性格をもつ航空安全の問題を取り扱う仕事は、科学技術や工学よりは、むしろ社会学に近い。とすると、航空技術の一専門家に過ぎない筆者が単独で、このような広い関連領域をカバーした解説書を書こうとすることはいささか無謀な試みかもしれない。しかし、航空事故の取扱いは批判を招きやすい微妙な側面があるし、真実は一つといってもその見方は立場によって異なることが多い。それで敢えて個人執筆とした。

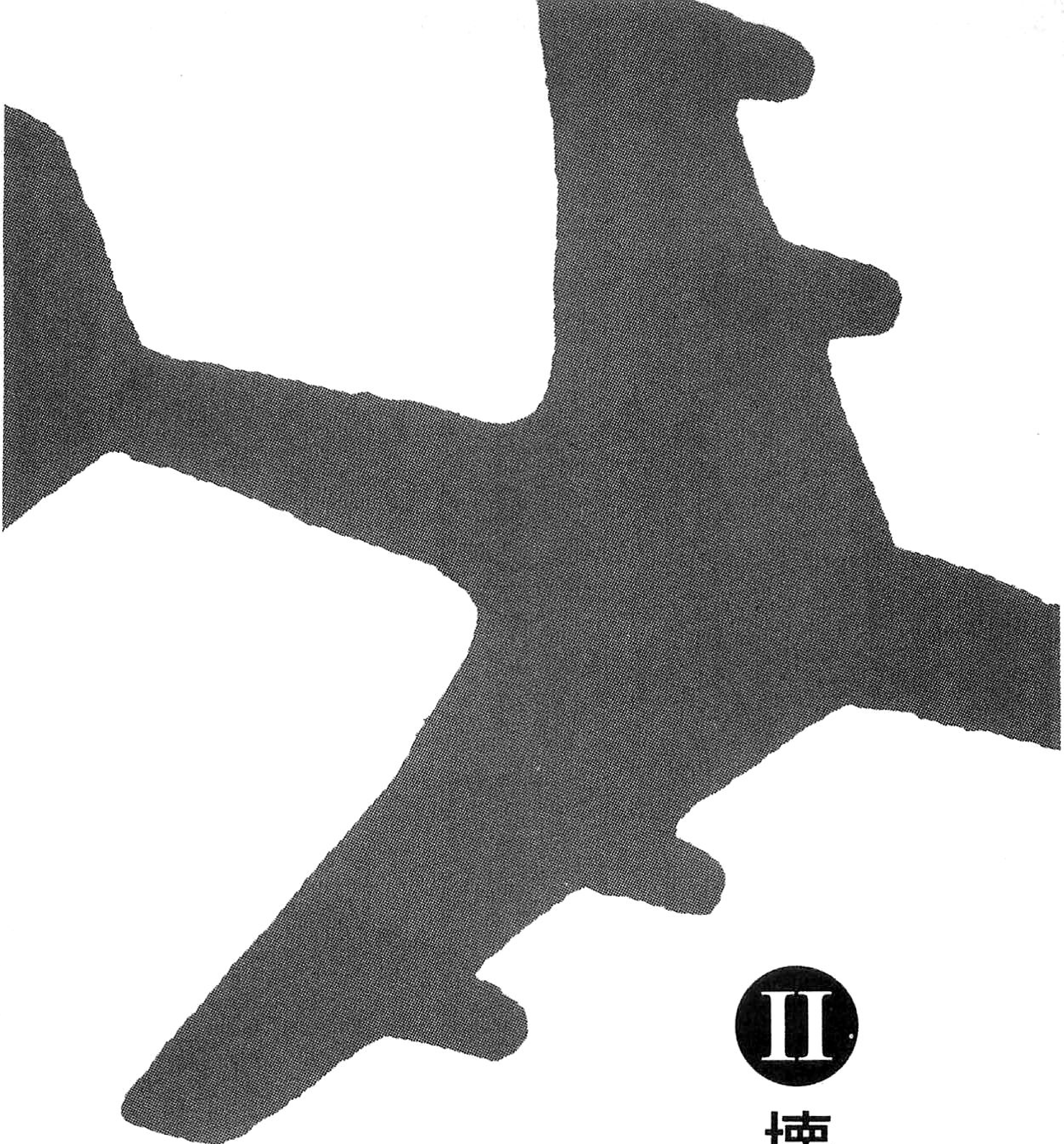
文中に述べられた見解は、航空界で議論された一般的なものを紹介したつもりであるが、その取扱い方には筆者の個人的傾向による偏りが出ているかもしれない。しかし、そのような不満足なものであっても、一般の読者にこの裾野の広い問題の全体像を捉えるうえでの参考になればと思い、講談社の福島真一氏のお勧めがあったのを機会に、思い切って筆を執ることにした。本書ではこの広範な問題を、自然的要素、機械的要素、および人間的要素の三つの面から取り扱い、それぞれに一つの章を割り当てている。

# 飛行機はなぜ落ちるのか・もくじ





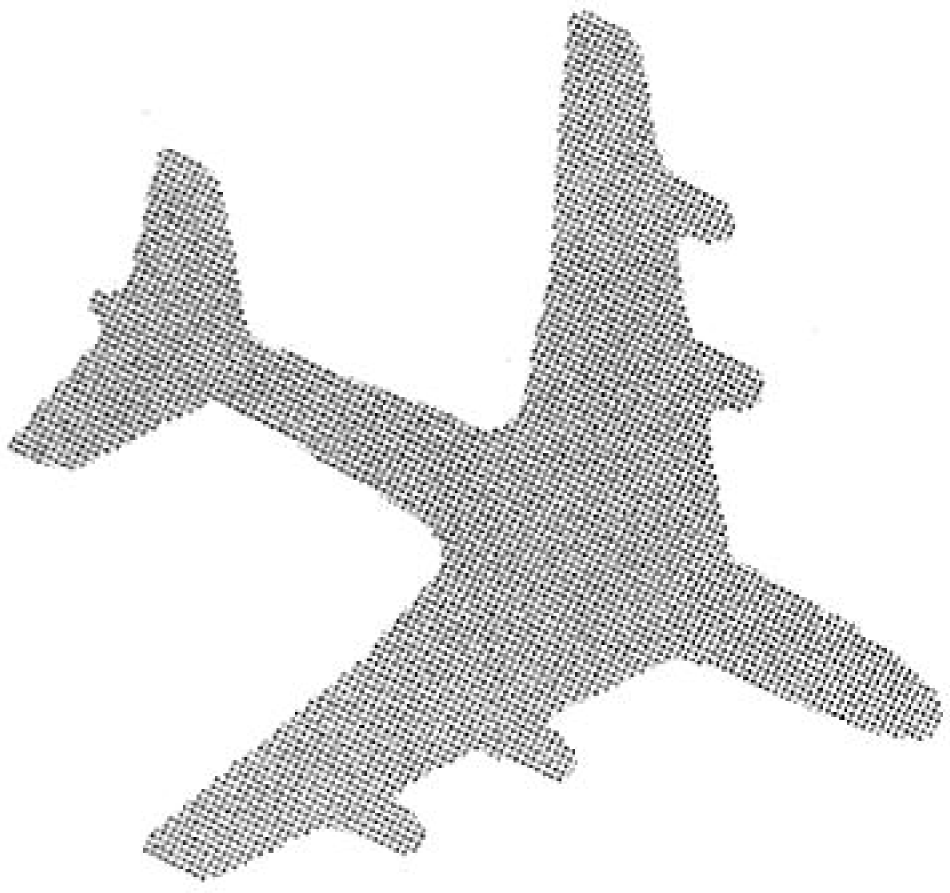




# II 壊れる機体 —構造— 65

# III

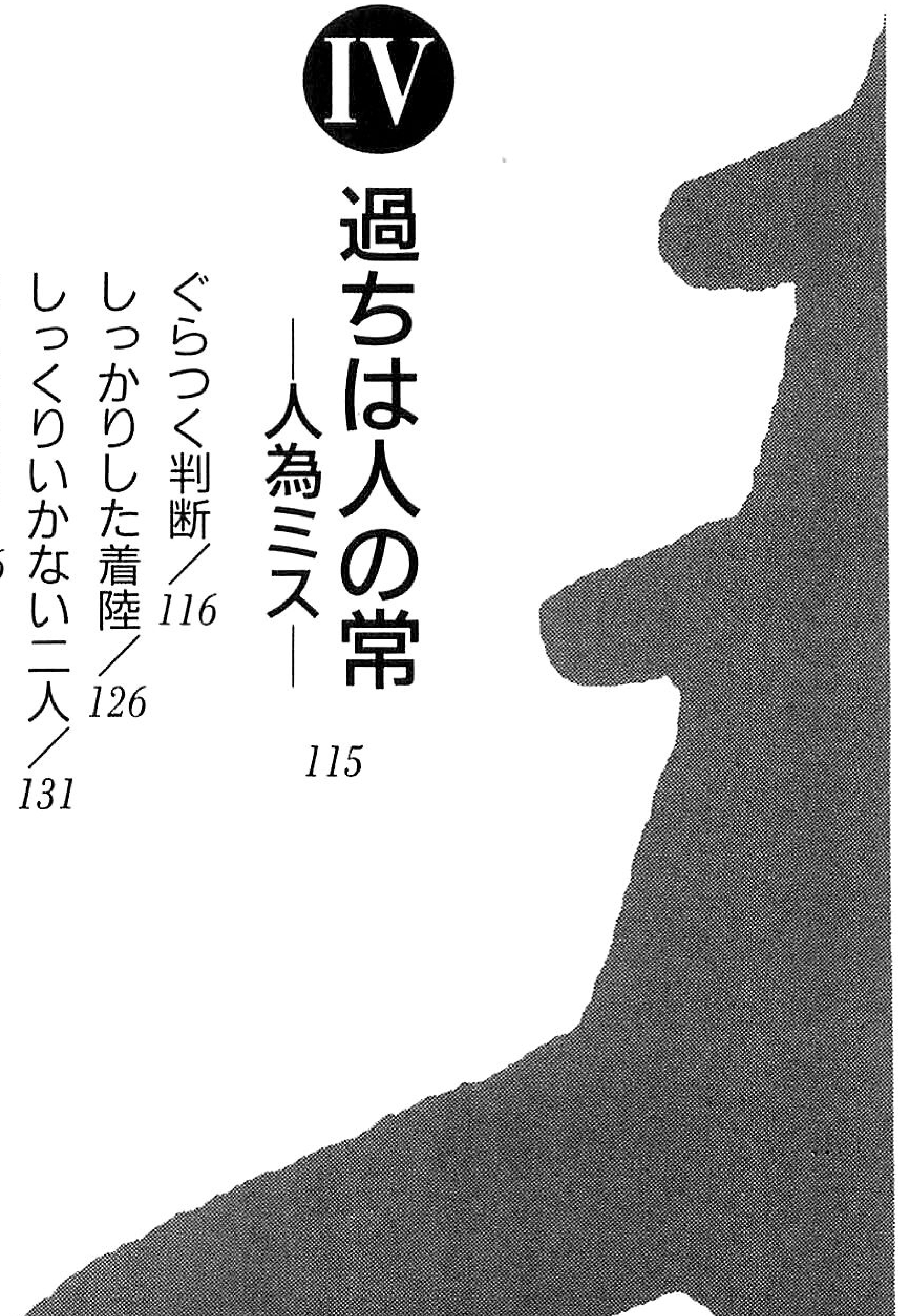
# 失われた動力 ―エンジン―



# IV 過ちは人の常

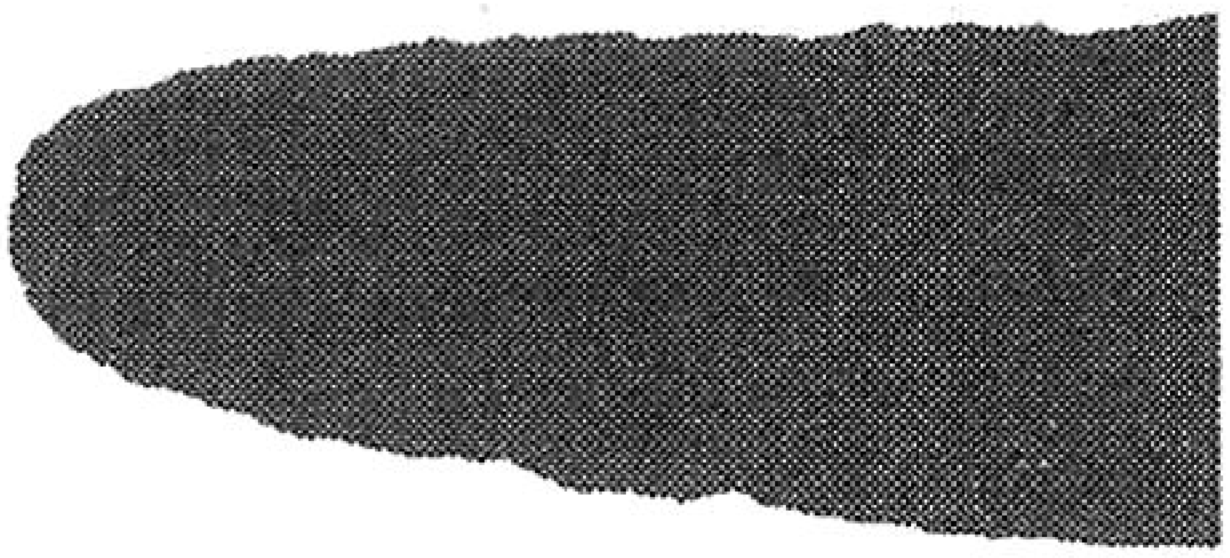
## —人為ミス—





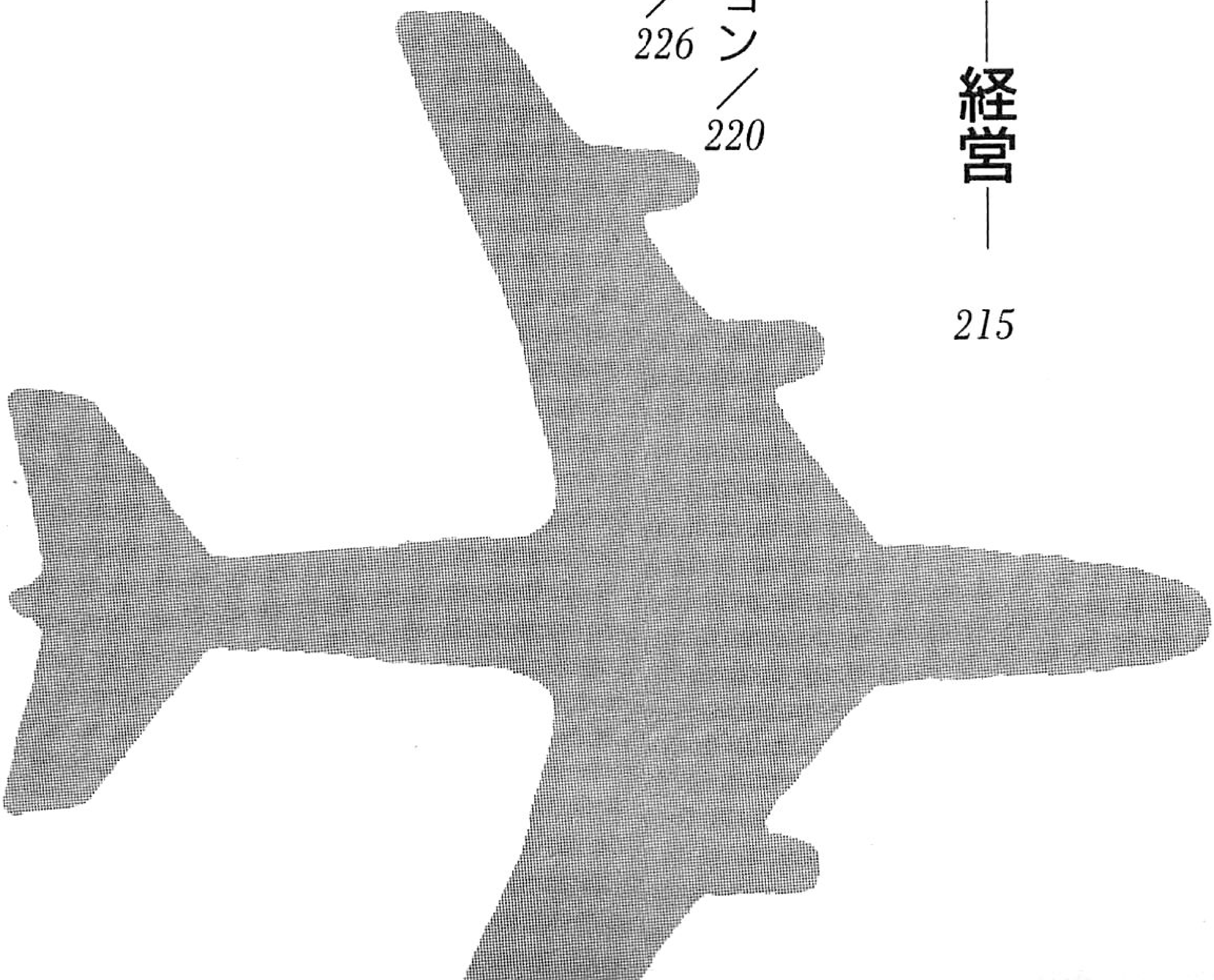


# V 機械と人間 —自動化— 169



## VI 社会と航空 ―経営―





# Ⅰ　自然の脅威
## —天候—



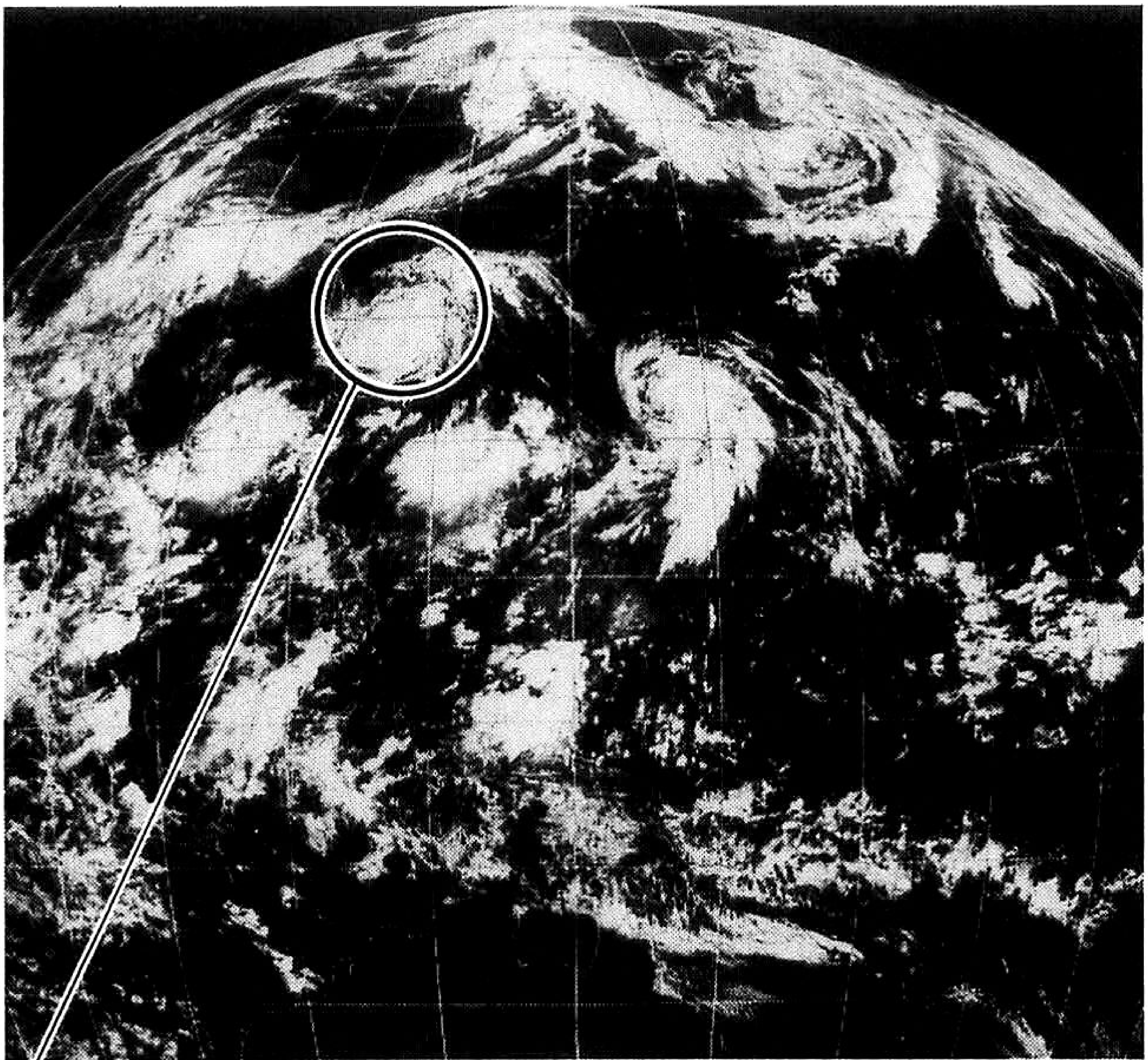
## 自然のエネルギー

二〇世紀は、科学技術の世紀である。機械文明が発達し、人類は巨大なエネルギーを手にした。「我々には何でも可能」と思われる時代である。だから、都市生活者には自然の恐ろしさを実感する機会は、そう多くない。しかし、ひとたび都会を離れて海や山に出て行くと、そこは荒々しい自然が支配する世界である。四季を問わず遭難は跡を絶たない。

では、自然のエネルギーの大きさは人間がこれまでに手にした最も巨大なエネルギーである原子力に比べて、どれくらい大きいのであろうか。

ネピア・ショウは、英国で近代気象学を築いた功績でナイトの称号を与えられた学者である。この人の最も優れた業績は、温度とエントロピーを両座標軸としたテフィグラムと呼ばれる断熱図を発明し、チャートで解析できるようにしたことである。この図を使えば、高層気象観測用ラジオゾンデからの気温、気圧、湿度のデータで、台風や温帯低気圧の中の水分が凝結するとき、空気中に解放される凝結熱を見積もることができる。

ショウは一つの低気圧のもつ熱エネルギーを$1764 \times 10^{25}$エルグと見積もった。広島長崎型原爆のエネルギーは、約$10^{17}$エルグであるから、この低気圧の熱エネルギーは、原爆一万七六四〇個分に相当する。また、この低気圧のもつ運動エネルギーは$1.5 \times 10^{24}$エルグで、これも原爆一五〇〇個分に相当する。このように自然は巨大な熱機関であり、また、すさまじい破壊力を秘



低気圧の運動エネルギーは広島型原爆の
1,500個分，熱エネルギーは17,000個分

I－1　低気圧のエネルギー

めているという事実を忘れてはならない。

気象現象だけではなく、火山活動からは地球内部のエネルギーの巨大さを窺うことができる。このような自然の中に限られた人力とエネルギーだけを頼りに、乗客の生命を預かって飛び込んで行かなければならない航空機のパイロットは、この自然の脅威を、最も切実に実感できる人達であろう（図I－1）。この章では、このような自然の中で航空機が遭遇する災害について述べよう。

## 死のダイビング

自然の大気は静止していることはなく、絶えず動いている、つまり風が吹いている。速度も向きも、一定の風なら、たいして問題はないのだが、前線や対流性の雲の中、またそれらの付近では、風は乱れている。これは乱気流（タービュランス）といわれる。乱気流中の風速は無秩序で周期性は乏しいが、とくに卓越した波長があると、それは突風として観測される。

飛行中に突風に出あうと、翼の迎え角が変動し、それにつれて主翼と尾翼に加わる空気力も変動するから、機体は上下左右に揺すられる。極端に強い突風の場合、その力で機体が破損することがある。

たとえば、一九六六年に富士山の頂上付近で、英国のＢＯＡＣ機が富士山の山越え気流の中に発生する乱気流に巻き込まれ、空中分解したということがあった。この空中分解は、突風で加わった空気力（突風荷重）によって、直接、構造破壊が起きた例である（この事故については柳田邦男氏著『マッハの恐怖』に詳しく述べられている）。

しかし、現実には突風荷重そのものによって、構造破壊が起きることはまれで、それよりは、突風が原因で失速して急降下中に高速に達し、大きな空気力が機体にかかり破壊する例が多い。

一九六〇年代、乱気流にあって墜落する航空機事故が相次いで起こった。一九六三年二月一

二日、ノースウェスト航空七〇五便のボーイング七二〇B型機がマイアミを発ってシカゴへ向かったが、フロリダ上空で雷雨に襲われて墜落した。出発前、管制官に指示されたコースに乱気流があったので、機長は管制官といい争ったが、結局、そのコースを飛ぶことになった。乱気流中を飛ぶとき突風が上向きにくると主翼の迎え角が瞬間的に増し、失速するおそれがある。

（7）　3版▲



墜落したノースウエスト航空旅客機と同型のボーイング720ジェット機（UPIサン）

**四十三人死亡か**　米旅客機墜落

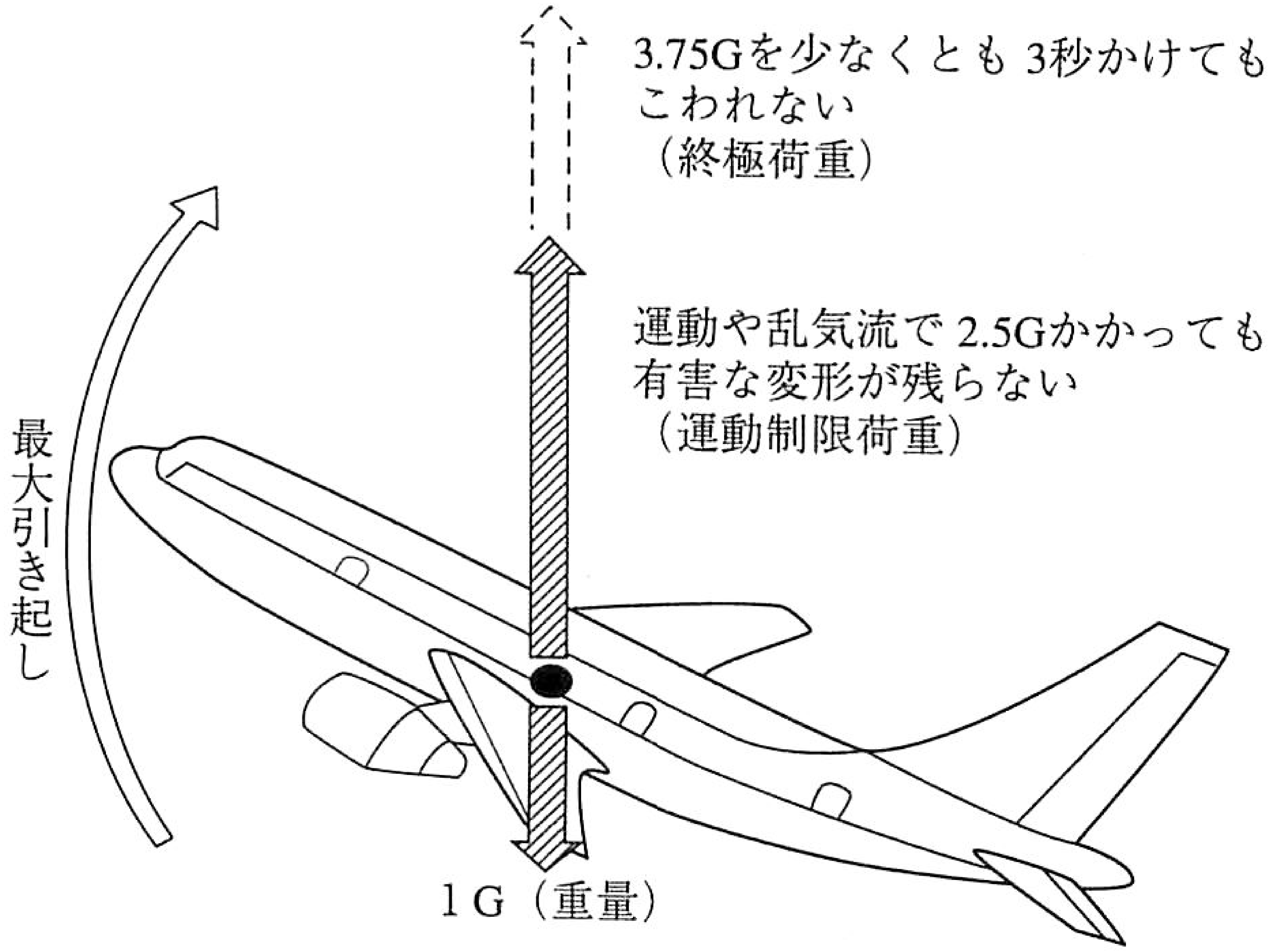
【マイアミ十二日発UPI＝共同】米フロリダ州マイアミ上空で十二日午後、四十三人乗りのノースウエスト・オリエント航空会社（NWA）のジェット旅客機が行方不明となり、沿岸警備隊や空軍機が捜索した結果、機体の一部がマイアミ西方約七十㌔のエバーグレーズで発見された。

同機はマイアミからシカゴへ飛行中に連絡を断ったもので、生存者はない模様。

1963年２月13日　朝日新聞夕刊より

機長はこれを避けるため、機首下げの操舵を行った。機首が下がり機は降下をはじめた。そのとき運悪く、逆の下降気流に捕らえられた。あらゆる操縦装置は急降下姿勢に固定されて動かなくなった。機長は必死になって操縦桿を引いて機体を引き起こそうとしたが、これが悪く昇降舵が吹き飛んだ。

飛行機の機体には、旋回や引き




Ⅰ－2　運動制限荷重と終極荷重

起こしなどの運動をするとき、ある大きさ以上の空力荷重(主に揚力)をかけてはならない。これを運動制限荷重といい、大型機では二・五Gとされている。これは、重量の二・五倍であることを意味する。そして、飛行機にかかる空力荷重は運用を考慮して決められた、いくつかの設計速度でチェックされなければならない。

その設計速度の一つに、設計運動速度がある。この速度以上では最大引き起こしをすれば、構造に運動制限荷重以上の力がかかって、安全上有害な変形が生じる。また、この最大運動制限荷重の一・五倍の空力荷重、すなわち三・七五Gを三秒以上かけると機体は破壊する。この荷重を終極荷重という（図Ⅰ—2）。

設計運動速度は巡航速度よりは小さい。ましてや、急降下中の速度よりはるかに小さい。し

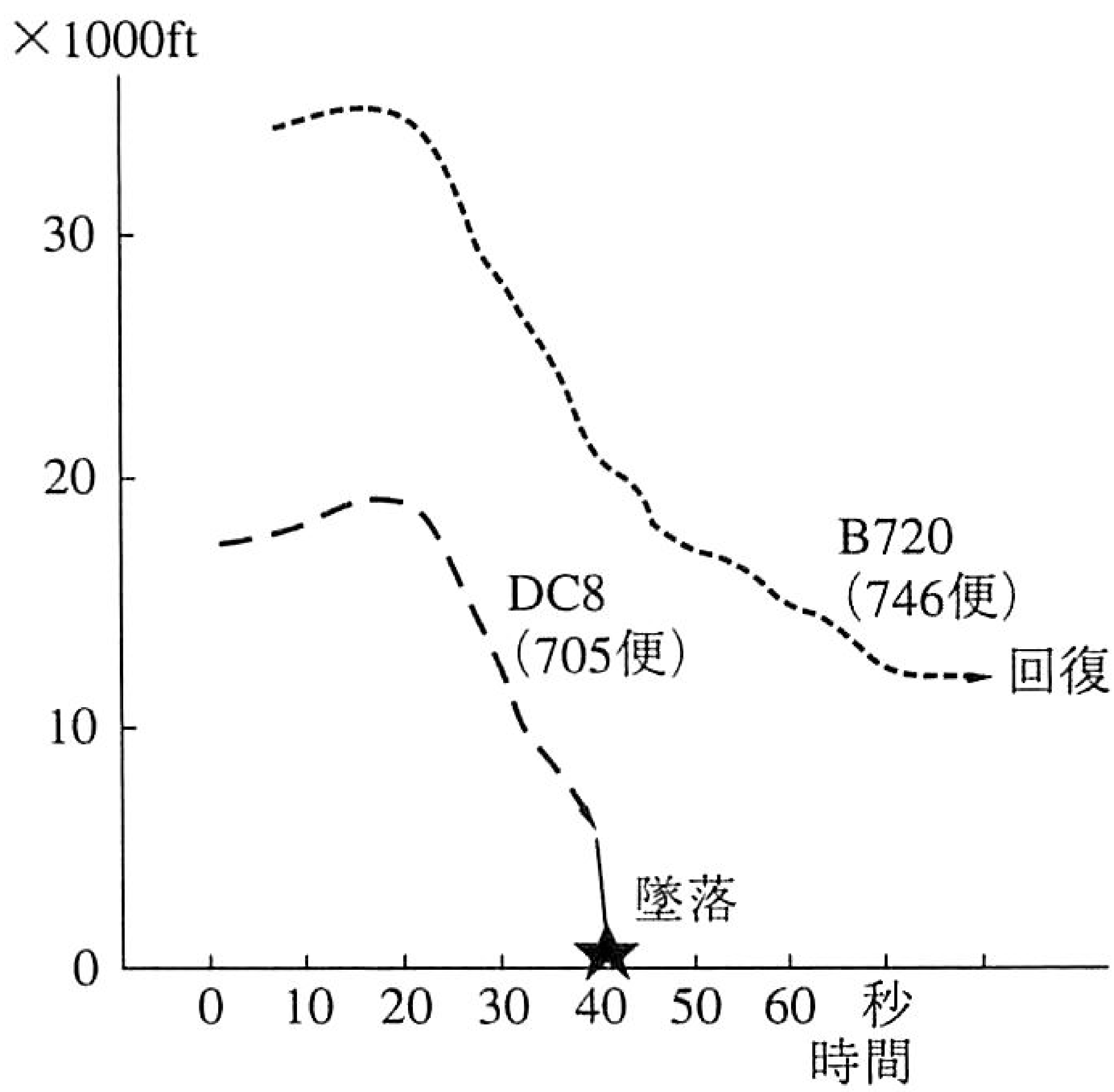
たがって、急降下中に昇降舵をいっぱいに引くと、主翼が壊れることも、尾翼が吹き飛ぶこともある。このノースウェスト航空機は昇降舵が飛んでコントロールを失い、きりもみ状態となり、スピードは音速を超え、エンジン・ポッドと主翼がちぎれ、燃料タンクが爆発した。

翌一九六四年の二月一五日には、イースタン航空のDC八型機が、やはり乱気流に遭遇して墜落した。

アトランタに向けニューオリーンズを離陸したあと、乱気流に遭った。この事故にはピッチ制御装置（PTC）の誤作動がからんでいる。上昇中、パイロットが操縦桿を引いていたとき、PTCがプログラムにない作動をし、スタビライザ（水平安定板）に機首下げ操作を行っていた。パイロットはそれを打ち消すため操縦桿に極端な力をかけなければならなかった。この異常に大きな保舵力を軽くするため、減速したことも考えられる。

このように、速度がおそくなると、それほど強くない上向き突風がきても、失速するおそれがある。運悪く、そのとき中程度の乱気流が襲い、機は激しく揺さぶられた。一瞬、保舵力が軽くなったときパイロットは力余って操縦桿を逆に押し過ぎた。そして機は、回復不能な急降下に入って行ったのである。

実はその前年、一九六三年七月一二日、サンフランシスコ－シカゴ間を飛んだユナイテッド航空のボーイング七二〇型機も乱気流にあい、高度一万一〇〇〇メートルから三七〇〇メート



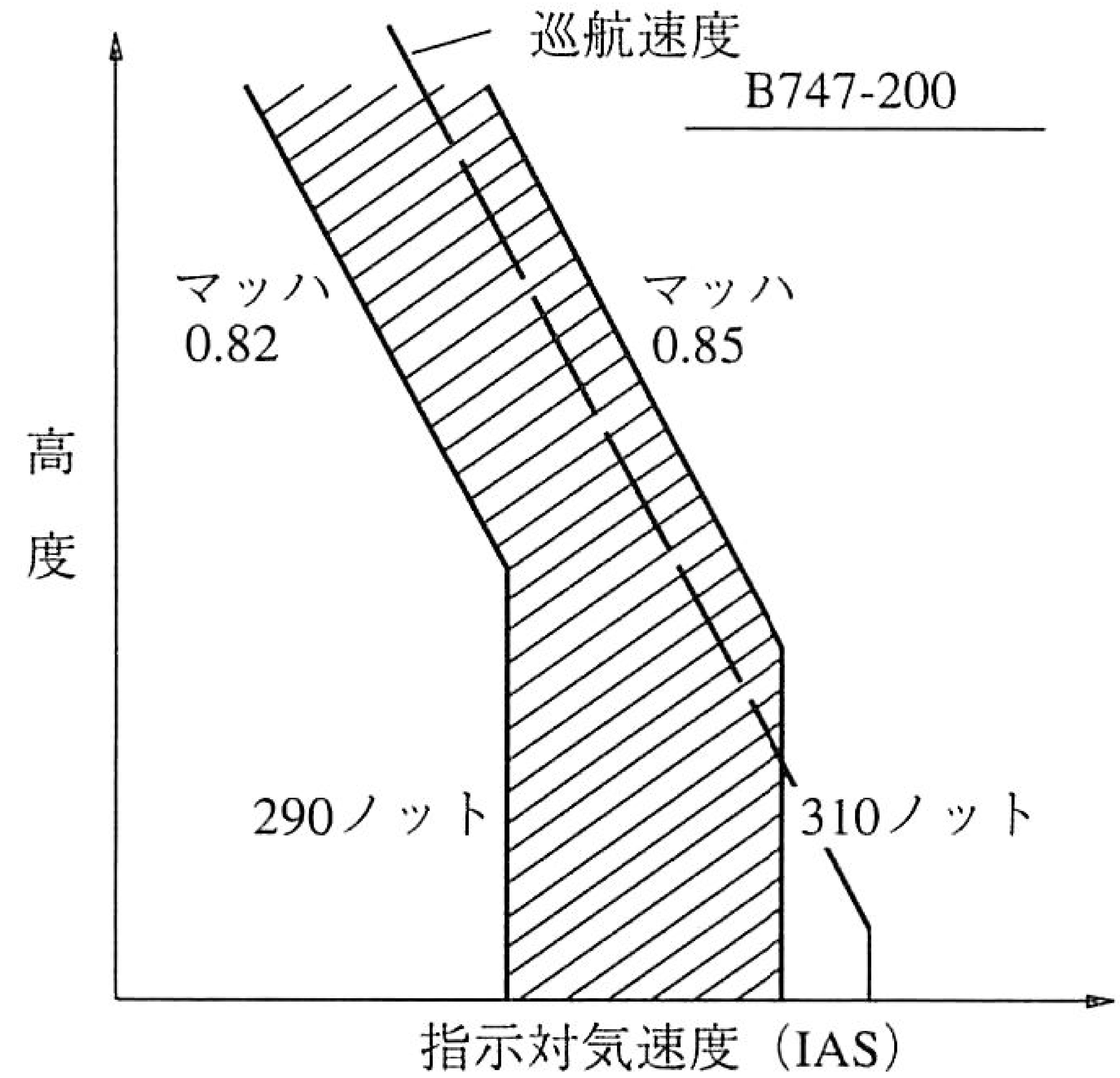

**I－3**　突風に遭遇した２機の高度記録

ルまで七三〇〇メートルのダイビングをしたのち、ネブラスカ州オニール空港に緊急着陸することに成功している。同じような状況でありながら、このユナイテッド機は、どのようにして生還できたのだろう。

このときも、機体は上下に揺すられ、六〇〇メートルも跳ね上げられた。失速した後、きりもみ状態で落下した。機長は引き起こし操作をしたい欲望に駆られたがじっと我慢し四五〇〇メートルまで落ちてくると、空気が重くなってくる。そこで、パワーを少し増して機首が少し上がってきたところで、じわじわと引き起こし、機体をたて直した。この機長の適切な行動が生と死を分けたのである（図I―3）。

このように乱気流中での失速が引金になった墜落事故が多発したため、米国の連邦航空局（FAA）と、航空機メーカーはその対策として、乱気流中の目標速度を設けた。この速度は、失速する恐れがない程度に高速であり、同時に、機体構造が突風荷重に十分耐えられる速度で

あるという条件を満たさなければならない。
現代の高速ジェット機は突風荷重に対しては強度に余裕があるから、後者の条件は問題ない。そのため、失速防止に主眼をおいて、この目標速度は高めに設定してある。また、その後、実施の経験をもとに改良を加えて、速度に幅を持たせている（図I—4）。この幅がないと、パイロットは、速度のコントロールに気をとられて、最も大事なピッチ姿勢（機体軸が水平面となす角）の保持を忘れるからである。ピッチを「機首上げ」に取ったときが失速の危険性が大きい。それに似た危険が自動制御装置を使って高度を維持して飛ぶときにも起こる。
一九八三年一一月二四日、カリブ海の島国トリニダード・トバゴを発ったカナダ航空のロッキード一〇一一型機がトロントへ向かって飛んでいたときのことである。その日、米国東岸には、アパラチア山脈上空とその西にコアを持つジェット気流が吹いており、その下層ではフロ



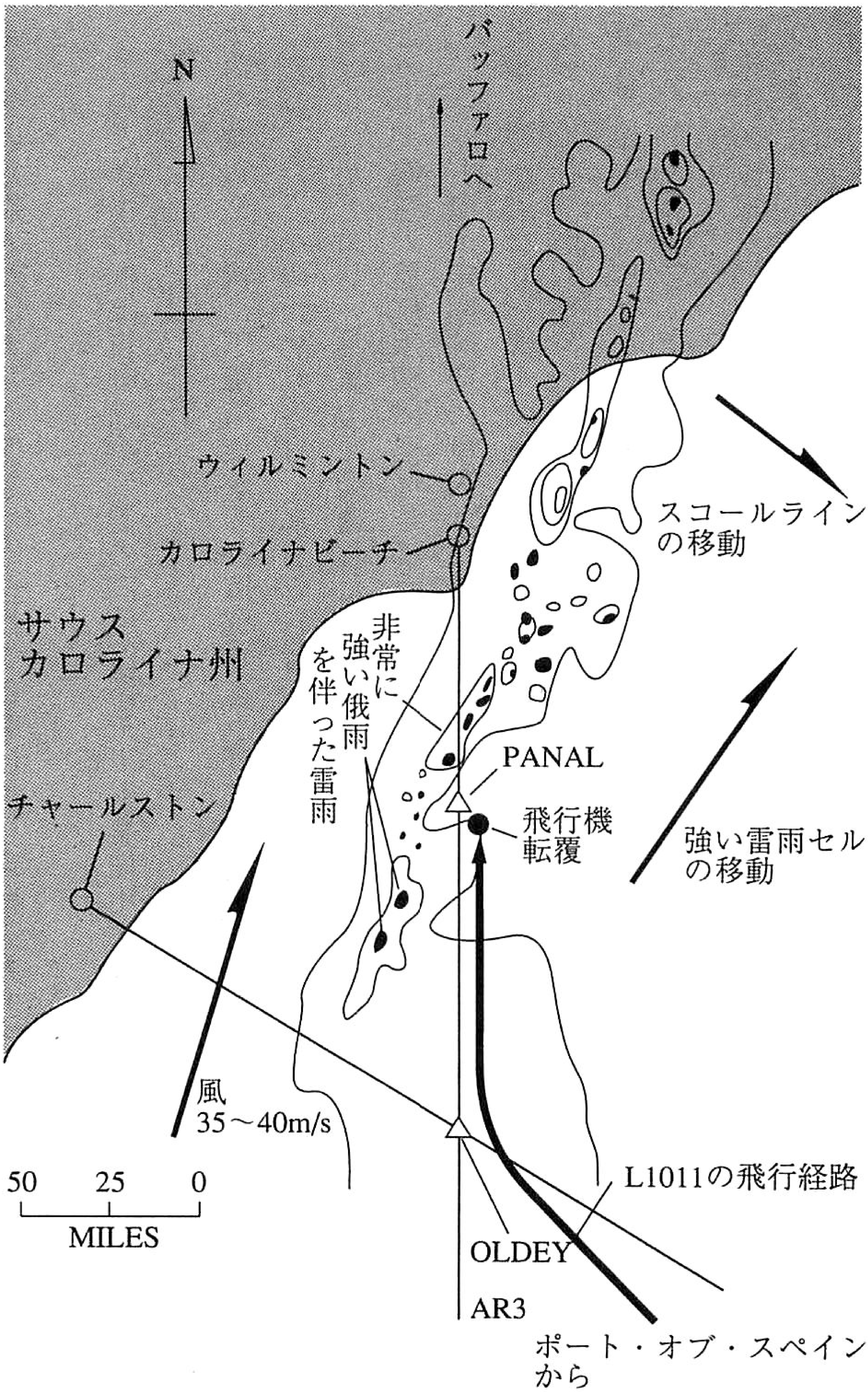
I－4　乱気流進入目標速度

リダ半島北部を横切って、大西洋岸に沿って前線が走っており、かなりの雷雲があった（図Ⅰ―5）。

サウスカロライナ州チャールストン沖一〇五マイルの地点に達したとき、激しいタービュランスに遭遇した。その前に機長は、前方に雷の閃光が走るのを目撃している。また、乗員の一人は窓ガラスにセントエルモの火を見た。これは、雲の中の霧粒が凍って氷晶となり、激しい乱気流の中で摩擦し合って静電気を帯びることにより、起きる現象である。この電荷が、近くの物体に向かって放電するとき発光するもので、この現象は、昔、地中海の船乗りが雷雨の中を航海中しばしば経験していた。ちなみに、「セントエルモの火」という命名は、船の守神の聖人にちなんで名づけられたものだ。

大気中では氷晶は激しい対流を伴う積雲の中とその周辺に存在する。この事故が発生したとき事故機の二三カイリ南西にはレベル四の雷雲（雲からのレーダ・エコーの強さを五段階で表示する。レベル四のエコーは非常に強いもので、その雷雲からは一時間に六〇～一一〇ミリの激しい降雨がある）があった。この積雲は高空の南西風の中に突き上げていて、その下流に波状の激しい晴天乱流（CAT）の領域があったことがわかっている。

事故機はこの乱気流に突っ込んだ。機ははじめの二秒間に八〇メートル持ち上げられ、その後一分間に三〇〇メートル落下した。そのとき下向きに最大一・〇四二Gの加速度を受けた。




I－5　カナダ航空Ｌ1011型機が乱気流に遭遇したときの気象状況

乗っていた幾人かは天井に叩きつけられて負傷した。乗客三人と客室乗務員一人が重傷を負った。

このとき事故機は自動操縦装置の高度保持モードを使用していた。そのためタービュランスに遭遇したとき、自動操縦装置は高度を一定に保とうとし、上昇気流がくれば機首を下げてピッチ角を減らし、次に下降気流がくれば機首を上げてピッチ角を増したから、機体の姿勢は大きく変動した。そのため乗客は、あるときは天井に持ち上げられ、次の瞬間には床に激しく叩きつけられた。激しい乱気流に遭遇したときに高度保持モードを使用することは、機体メーカーとカナダ航空の運航手順に違反していた。

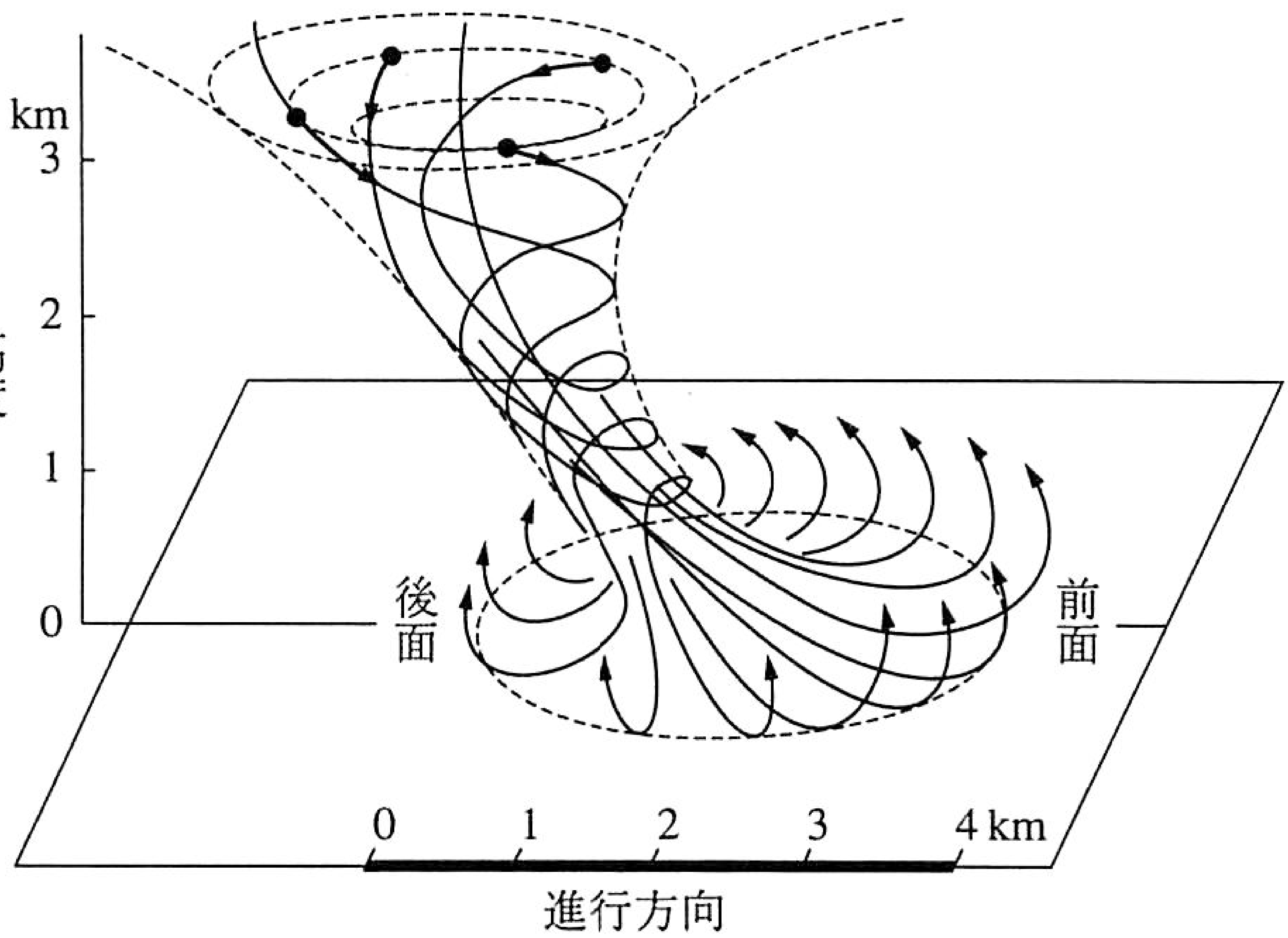
ジェット機が定期航空に投入されてから三〇年以上経った。この間、乱気流中の飛行の運用経験も豊かになり、機上の気象レーダーによる雷雲の探知が可能になったため、今、述べたような乱気流により墜落する大事故はその後少なくなった。しかし、中小規模の事故はなくならない。これは、とくに雲のないときにも発生する晴天乱流の探知が、まだ十分に可能ではないからだ。

米国の国家交通安全局によれば一九七五年から一九八一年の七年間に定期航空会社で四四件の乱気流による事故が発生している。これは、事故原因別では最も件数が多い。七〇名が重傷、八〇名が軽傷を負ったが、機体の破損は僅かであった。

四四件中二九件が雷雲による対流型タービュランス、一五件が晴天乱流（CAT）によるものである。また、短時間で小規模ではあるが急激な風向と風速の変化を伴うマイクロバーストが空港付近で発生すると、離着陸中の航空機を危険に陥れてしまう。次に、このマイクロバーストとはどんなものかを説明しよう。

**落下する冷気塊、マイクロバースト**

雨雲の底から雨滴が落下しても、それが地上に達するまえに蒸発してしまうと降水は観測されない。尾流雲は、このような雲底からの降水が薄墨色のすじのように垂れ下がっている乱層雲の一種である。この雨滴は蒸発するとき、周囲の空気から気化熱を奪うため、そこに冷気が発生する。この冷気塊の親雲が積乱雲である。




I－6　マイクロバーストのモデル

この場合は、氷晶が落下途中で気化（昇華）して冷気を作る。この冷気の塊が地面にぶつかると、リング状またはローター状の渦を作りながら四方に広がる（図I—6）。このとき地上風の秒速は二五～五〇メートルに達することがある。上空から冷気の爆弾が落ちてきてバースト（破裂）するのに似ているので、ダウンバーストと呼ばれる現象である。

ふつう地上の強風は、トーネドや竜巻のように垂直の軸をもつ漏斗状の渦によって誘起されるが、このダウンバーストによる渦は、水平のリング状またはローター状である。この風の領域の規模が数キロ程度と狭いものは、マイクロバーストと呼ばれる。もっと規模の大きい現象は、マクロバーストと呼ばれる。マイクロバーストによって誘発される風向風速が場所的に急変することを、ウィンドシアと呼ぶ。

マイクロバーストは、その継続時間こそ数分程度と短いが、地上風速が急変するので、ターミナルエリアでの航空機の運航に危害を及ぼす。また、この風は突然やってくるので、従来の観測方法では見つけ難い点が問題である。マイクロバーストが原因で起きたことがはっきりしている最初の航空機事故は、一九五六年にナイジェリアのケノ空港で発生したBOAC機の墜落事故である。その事故の原因になった地表付近の突風の発生機構の詳細は、長い間、不明のままであった。

その後、マイクロバーストが世間の注目を集めたのは、何といっても一九七五年六月二四日

にニューヨークのジョン・エフ・ケネディ空港でイースタン航空機が墜落し、乗っていた一二四名中一一二名が死亡した惨事が起きて以来である。その翌々月にはコロラド州のデンバーでコンチネンタル航空機が墜落し、一五人が負傷した。

ジョン・エフ・ケネディ空港のイースタン航空六六便の墜落事故の原因を調査したシカゴ大学の藤田哲也教授は、雷雨のような中小規模の気象現象（メソ気象学）の研究では世界的に名を知られた日本人学者である。教授は、この事故時の風の状況が以前から研究してきたガストフロントの通過の前後に発生する強風に似ていることに気づいた。この強風による被害の空中写真は、樹木が放射状に外向きに倒れるスターバーストというパターンを示していた。教授はこれを引き起こした下降気


米旅客機が墜落
着陸寸前の727機
死者百余人 日本人なし
ケネディ空港
着陸指示を受けて降下

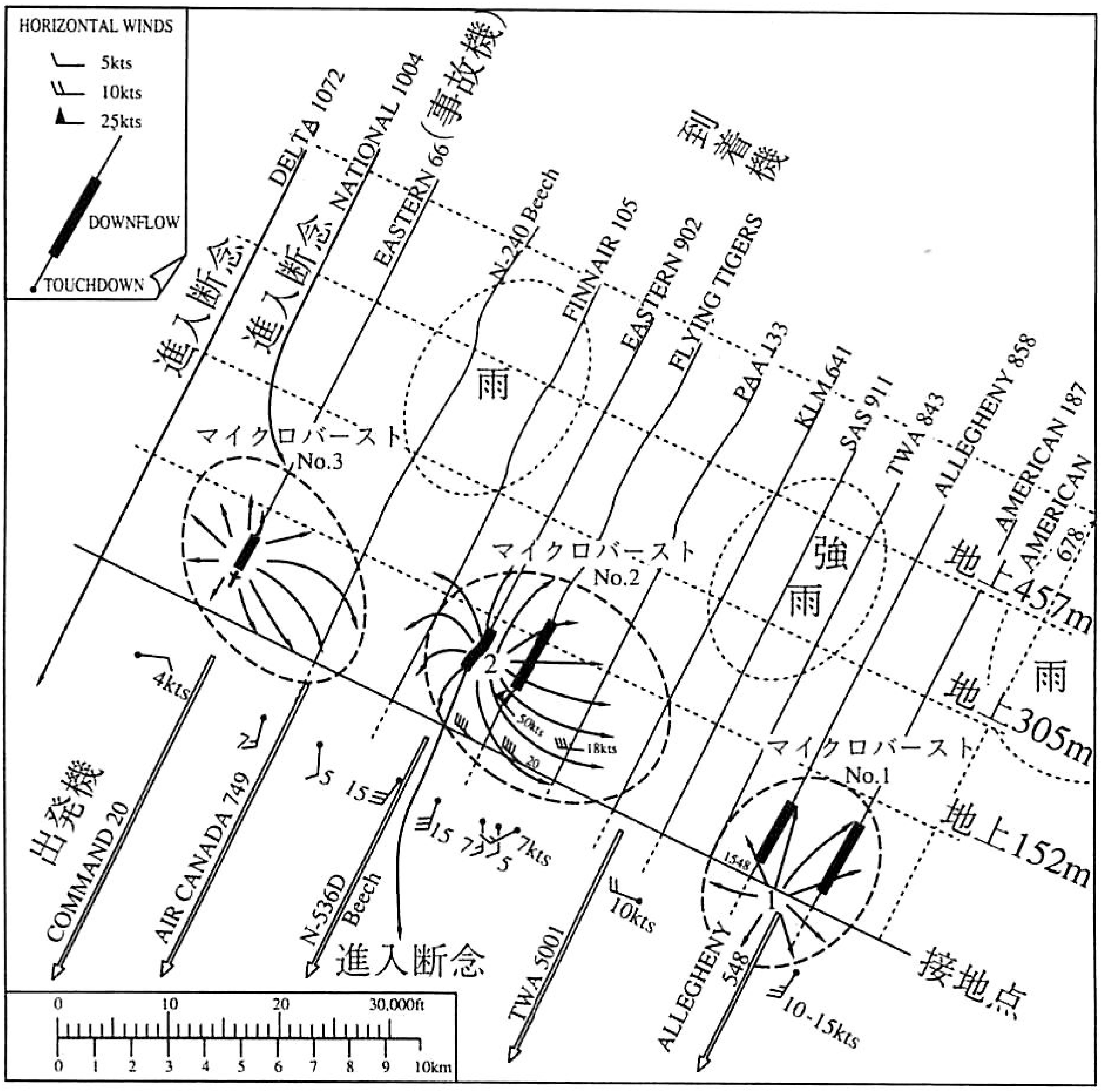
1975年６月25日　朝日新聞夕刊より

流をダウンバーストと名づけて発表した。このようにダウンバーストは、はじめ気象現象に関連して研究されていたのである。

イースタン航空六六便の墜落事故では、その約二〇分前から三つのマイクロバーストがこの空港を襲っていることが調査から明らかになった。事故の八分前には同じイースタン航空の九〇二便が二番目のマイクロバーストに遭遇し、辛うじて着陸復行したものの、この空港への着陸を諦め、ニューアーク空港に着陸している。このようにマイクロバーストは短時間に繰り返し起こることがある。

図I―7は、この事故の前後に、この空港に着陸しようとした一四機の飛行機の飛行経路対時間のダイアグラムである。縦軸に時刻を、横軸に距離を目盛ってあるから、次々と進入してくる飛行機の飛行経路は斜め右上から斜め左下に走るほぼ平行な線になる。この図上に、三つのマイクロバーストの風を書き込んだ。この風は、スターバーストのパターンが明瞭に表れている。

アメリカン航空の一八七便とアレゲニー航空の八五八便は、一番目のマイクロバーストに出遭ったが無事着陸した。フライングタイガー航空機は、はじめ強い持続した下降流を受けたので、沈下を防ぐために異常に大きなパワーを長時間使わなければならなかった。高度六〇メートルから接地までは右から秒速二五メートルを超す強い横風を受けたため、機首を一〇～一五




I－7　イースタン航空機事故時のマイクロバースト

度も右に振らなければならず、接地するときは突然無風になったという。

この難しい操縦をその前に着陸したパン・アメリカン航空の一三三便の機長が滑走路上から見て、「熱いトタン屋根の上の猫のようだった」と評した。その直後に進入してきたイースタン航空の九〇二便は右に流されながら沈みはじめた。そのため、かなりのパワーを増すと同時に、異常に高いピッチ角まで引き起こして、機が沈むのを止めた後、着陸を断念して他空港に向かったのである。

問題のイースタン航空六六便

は、進入中、マイクロバーストNo.3に接近した。風は、はじめ秒速五～八メートルの向い風だったが、マイクロバーストの中心に近づくと、それが急に下降流に変わった。事故機はこの風の下降流域を脱出できずに、滑走路端から七三〇メートル手前に墜落した。

そのあとから進入したナショナル航空の一〇〇四便も、マイクロバーストに突っ込む恐れがあったが、墜落事故を見た管制官の指示で復行し、その後空港は閉鎖された。

このようなことから判断すると、雨が降っている中を進入しているとき、向い風が強くなったら、マイクロバーストの疑いがある。その先に追風と下降流が待っていることを予想しなければならない。マイクロバーストによる事故はその後もあとを絶たない。やや古いデータだが、一九七五年から一九八五年に米国でウィンドシアによる事故が一四九件起こり、四五〇人を超す死者を出している。

そのなかでも、一九八五年八月にデルタ航空のロッキードL一〇一一型機が、テキサス州のダラス・フォートワース空港で雷光が走る積乱雲の中へ進入を開始し、激しい雷雨を通過中マイクロバーストに出遭って墜落した事故が目立っている。一三四人が死亡し、生き残ったのは二六人の乗客と三人の客室乗務員に過ぎない。また、一九八七年一二月二七日には、イースタン航空のDC九型機がフロリダ州のペンサコラ空港に着陸しようとして、マイクロバーストに遭い、四・〇Gのハードランディングをして機体が真っ二つに折れ、後部胴体を引きずって滑

走路上を一八〇〇メートル走って止まった。三人の乗客が軽傷を負っただけだったのは、不幸中の幸いであった。

このマイクロバーストによる事故を防ぐため、低高度ウィンドシア警報装置（ＬＬＷＡＳ）が開発され、米国の主要空港で実用化されている。この装置は、空港の中とその周辺の数ヵ所で風を観測し、その測定地点間の風速ベクトル差を求め、その値がある一定値以上になったら、警報を発するものである。たとえば、デンバー空港では一二ヵ所に風向風速の観測塔を約二キロメートル間隔で配置している。

しかし、デンバーのＬＬＷＡＳはいくつかの問題点を抱えている。最も重大なのは信頼性が低いことである。つまり、誤った警報が出たり、肝心なときに警報が出なかったりすることが多いことだ。その理由の第一は、観測塔の高さがまちまちなことである。これは地形の関係や周囲の障害物の影響を避けるためにやむを得ないことではあるが、違った高度の風速を比較したのでは正しいベクトル差は求められない。また、観測塔の間隔の二キロメートルは、マイクロバーストの大きさに比べて広過ぎる。もっと多くの観測塔を設置する必要がある。

ＬＬＷＡＳに代わるものとして、気象レーダーを使うＴＤＷＲ（Terminal Doppler Weather Radar）という方法が、最近、米国で研究されている。わが国でも気象研究所が成田で試験している。波長はＣバンドの五センチ程度のものが実用に適している。米国のオーラ

ンドで試験中のこのドップラー・レーダーは、直径八・五メートルのアンテナをもつ。このシステムは滑走路の付近で一・八五キロメートルにつき、一〇メートル毎秒の風速変化率が〇・九〜七・四キロメートルにわたって発生したとき警報を出す。

このシステムに対する要求性能は次のようなものである。

①空港中心から一一キロ以内で九〇パーセントの確率で上記の通報可能なウィンドシアを探知できる

②誤報の確率は一〇パーセント以下である

③パイロットには少なくとも一分前の警告を簡単で客観的なレポート（滑走路の番号、ウィンドシアの型、予想される向い風変化、最初に遭遇する位置）として与えなければならない

機上に搭載するウィンドシア警報装置について、米国連邦航空局は一九九三年までに、米国の空域を飛ぶ三〇人乗り以上のすべての飛行機に装備するよう命令を出した。

現状では、いったんウィンドシアに入ったときに加速度計を使って、それを検知する反応型（reactive）のシステムが実用化されている。ベンデックスやロックウェルなどの航法機器

メーカー各社は、ウィンドシアに入る数十秒前にそれを検出し警報を出す予測型の装置を開発中である。

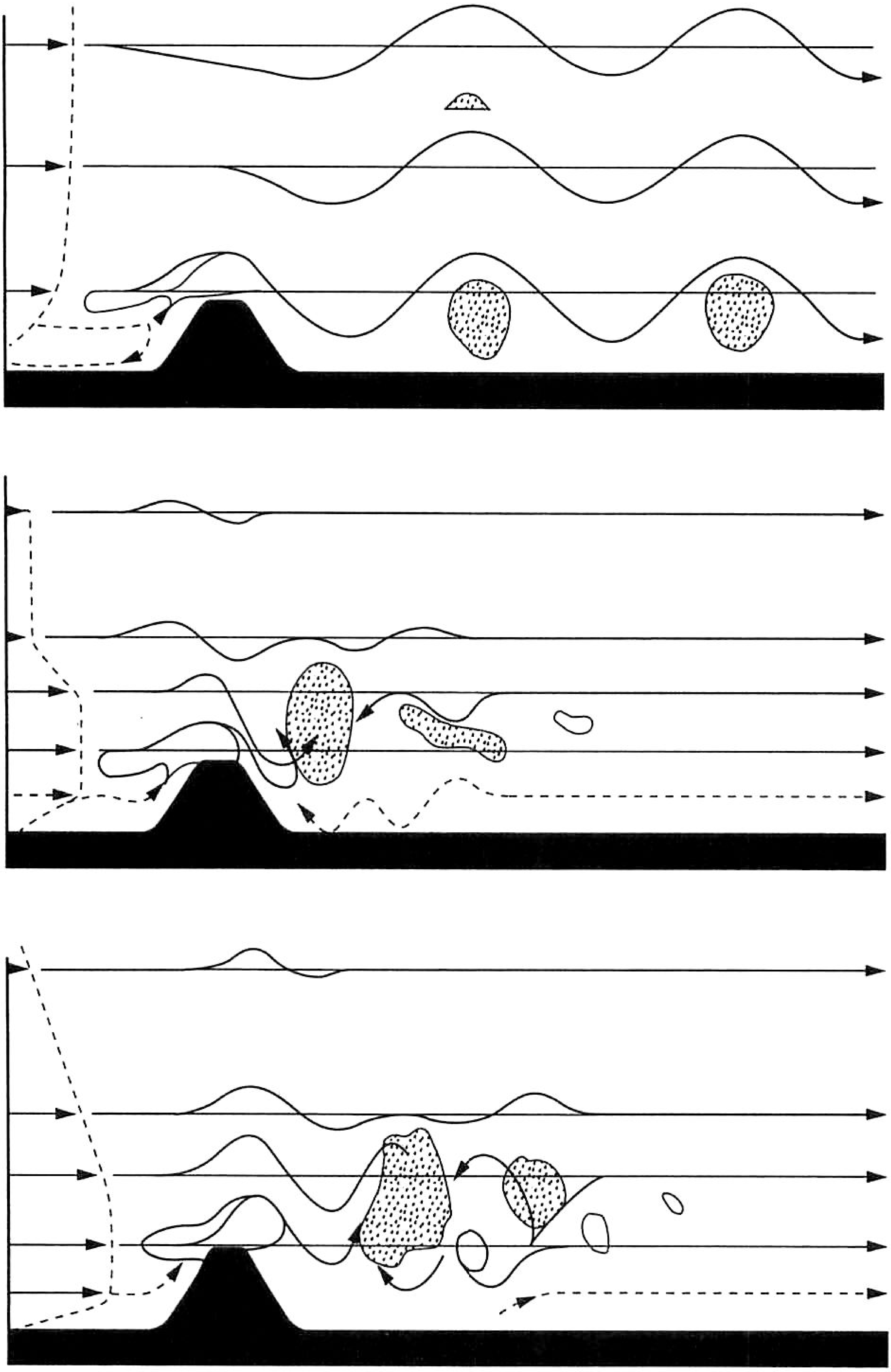
### 気流の中の渦

一九九一年三月三日、米国ロッキー山脈の麓の都市コロラドスプリングスの近くで、ユナイテッド航空のB七三七型機が飛行中、突然横に傾いたあと、ほとんど垂直に地面に突っこんだ。この事故の原因ははっきりせず、方向舵が逆に作動したという疑いもあるが、航空局は気流の乱れではないかと疑っている。

似たような事故は、過去にも起こっている。米空軍のB五二型爆撃機（一九六四年一月一〇日、コロラド・ニューメキシコ州ソングル・ド・クリスト山脈の東方）、BOACのB七〇七型機（一九六六年三月五日、富士山付近）、BAC一一一型機（一九六六年八月六日、ネブラスカ州フォールス市近郊）、フェアチャイルドF二七B型機（一九六八年一二月二日、アラスカ州ペドロ湾）の事故がある。

この四機とも、山頂の高度の近くで事故を起こしているので、山越え気流の中の激しい渦巻き流に捕らえられたものと推定されている。

山越え気流の中には、数キロ波長の波が発生する（図I—8）。空気が湿っているときは気



I－8　山越え気流

流が上昇する領域に雲が点々と並んで発生する。日本においても、富士山で下流の駿河湾上空にこの雲の列が現れることがある。空気が乾燥しているときは雲は発生しないので、小型機が不注意に山頂に接近して危険に遭うことがある。

乱気流は普通、雲の中の上昇気流に伴って発生することが多いが、この渦は雲のない空中で発生するので、晴天乱流（clear air turbulence）と呼ばれる。

山頂高度よりも高い大気中や、圏界面（対流圏と成層圏の境界で、高さは季節と地域で異なるが平均して一二～一三キロ）の近くでも、晴天乱流に遭遇することがあるが、その発生原因はよく分かってはいない。過去に事故にはならなかったが、激しい乱気流に遭遇した例がある。一九八一年四月三日にユナイテッド航空のDC一〇型機が、モンタナ州ハンニバルの上空を高度一万一三〇〇メートルで巡航中、下から雷雲が列になって盛り上がってきて、その頂は一万メートルに達した。ユナイテッド航空機が、その上を通過して数分後、機は激しい乱気流にあおられた。ある瞬間上向きに一・七Gの力で持ち上げられ、次の瞬間には下向きにマイナス一Gで引き下ろされた。

第二の例は、同じユナイテッドの同型機が一九八二年七月六日、ワイオミング州マートンで高度一万二〇〇〇メートルを西方に巡航中、ソルトレーク北西三〇〇キロのウインドリバー山脈に近づいたとき激しい乱気流に遭遇した。このとき機は上下に加速度一・六G、およびマイ

ナス〇・六Gで激しく揺さぶられている。

第一の例では、積乱雲が成長して上層大気が衝き上げられたために起こった。第二の例は上述の山岳波が高空まで影響を及ぼしたものである。

NASAとNTSB(国家交通安全委員会)は共同で、この二例について、晴天乱流の流れの構造を調べた。機上に搭載されたデジタル・フライト・データ・レコーダ(DFDR)の飛行データと、管制レーダーの観測記録を解析して機体の運動と風を計算した。その結果、いずれの場合にも、気流中の渦巻き構造を確認した。この渦流れはもともと安定したシアー層(風が高速から低速に急に変わる領域)がケルビン・ヘルムホルツ不安定と呼ばれる波動運動を起こしたために発生する。

この乱気流を探知するため、地上と機上の両方で使用する装置を開発する必要がある。機上型の装置は、一九九三年末までに搭載することが米連邦航空局により要求されている。そのため、ウェスチングハウスなど航空機器メーカー三社は高性能のドップラー・レーダーを開発中であるが、現在のところ、まだ完成していない。

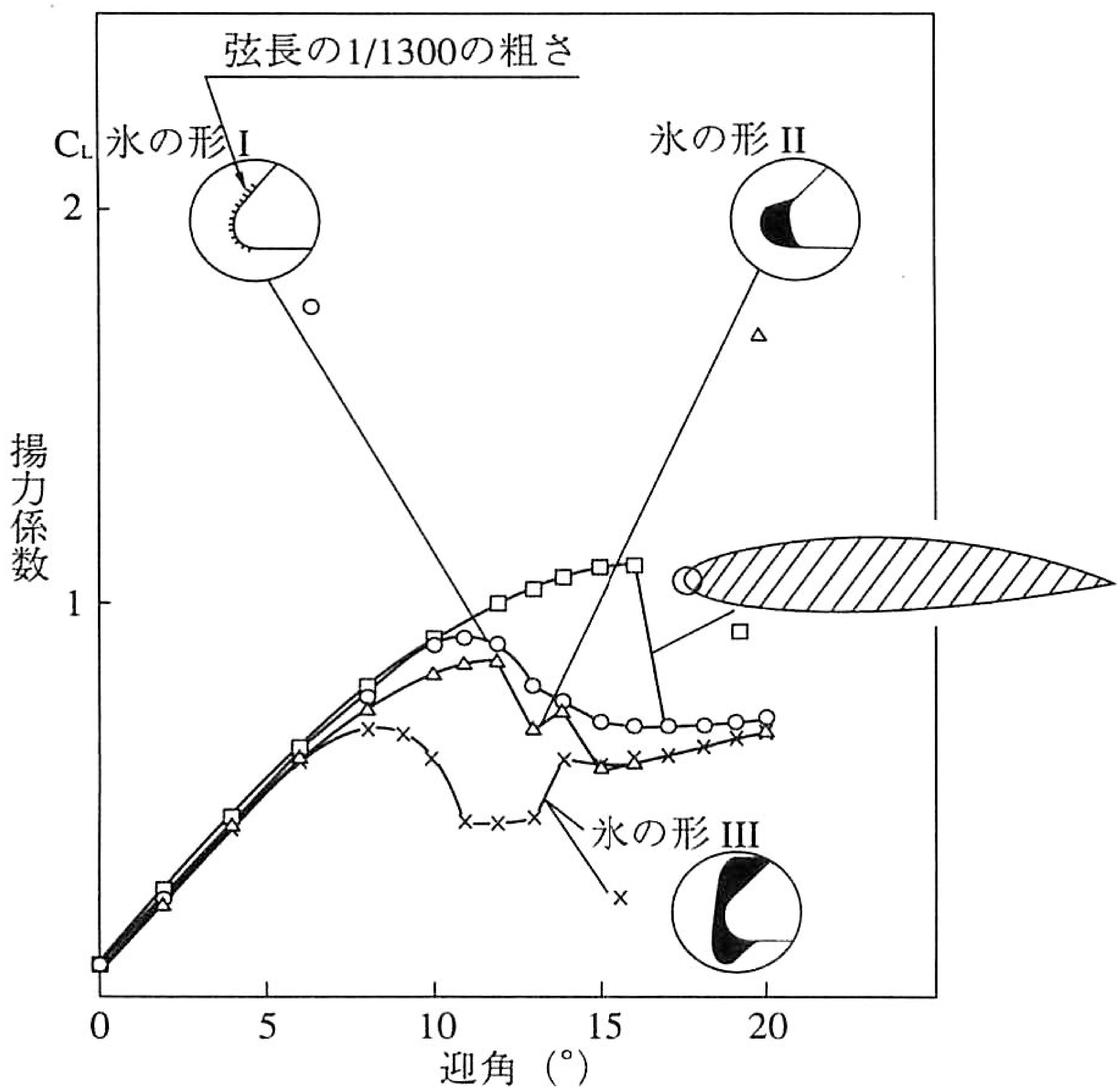
### 凍りついた翼

リンドバーグは一九二七年、米国東岸のロングアイランドからパリへ向かって世界初の大西

洋横断飛行に飛び立った。乗機は「セントルイス魂」号である。大陸を離れて、ニューファウンドランド東方の大西洋上にあったとき雷雲群に遭遇した。雲塊のてっぺんがむくむくと昇ってくる。行く手に暴風雨帯があることは疑う余地がなかった。彼の自伝『翼よ、あれがパリの灯だ』を読むと、壊中電灯で照らしたとき翼の支柱の縁に氷が付きはじめるのを見て、リンドバーグは引き返すかどうか迷ったようである。結局、降下して気温の高いところで氷を落して飛行を継続した。

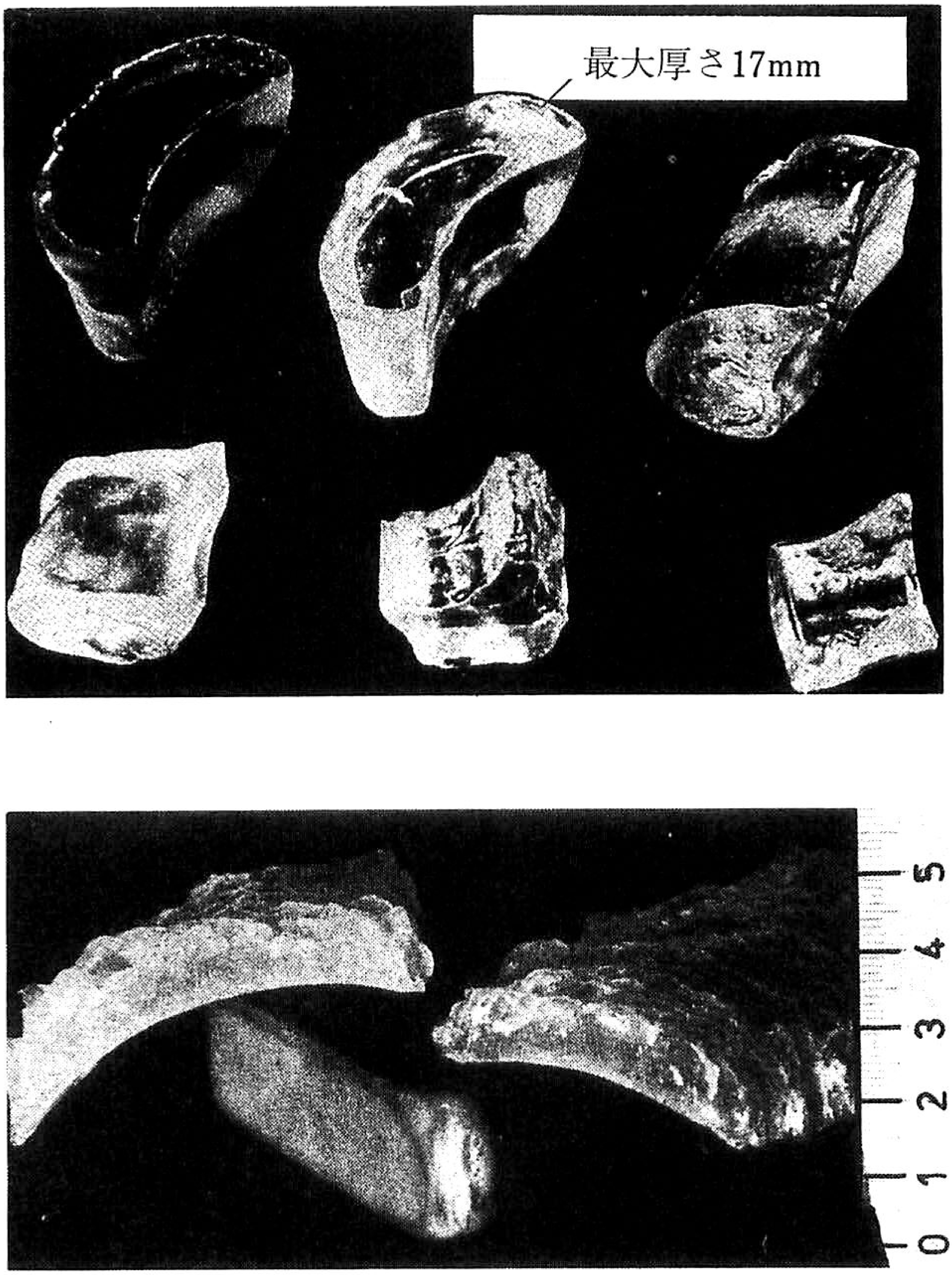
翼に氷が付くとどうなるのだろうか。図I―9で説明しよう。この図は翼の前縁にいろいろな形の氷が付いたときの揚力特性の変化を比較したものである。比較のため氷の付かない、もとの翼型の特性も記入してある。氷の形Iはごく僅かな氷がついて前縁表面が多少粗くなった場合で、翼型はほとんど変わっていない。それにも拘らず、失速が起こる迎角が一〇度近くにまで減少し、それに伴って最大揚力係数も一以下に減っている。

着氷が厚くなると、その形は雲の中の気温によって二種類に分かれる。雲の中の霧粒は過冷却(温度が〇~零下二〇度でも液体のままでいること)の状態にある。低温の雲の中を飛ぶとき正面から翼に衝突した水滴はそのショックですぐその場所に凍り付くから、着氷はIIのような形になる。この氷の表面は比較的粗く、ライム・アイスと呼ばれる。形が流線型に近いので揚力特性の劣化は形Iの場合と大差ない。



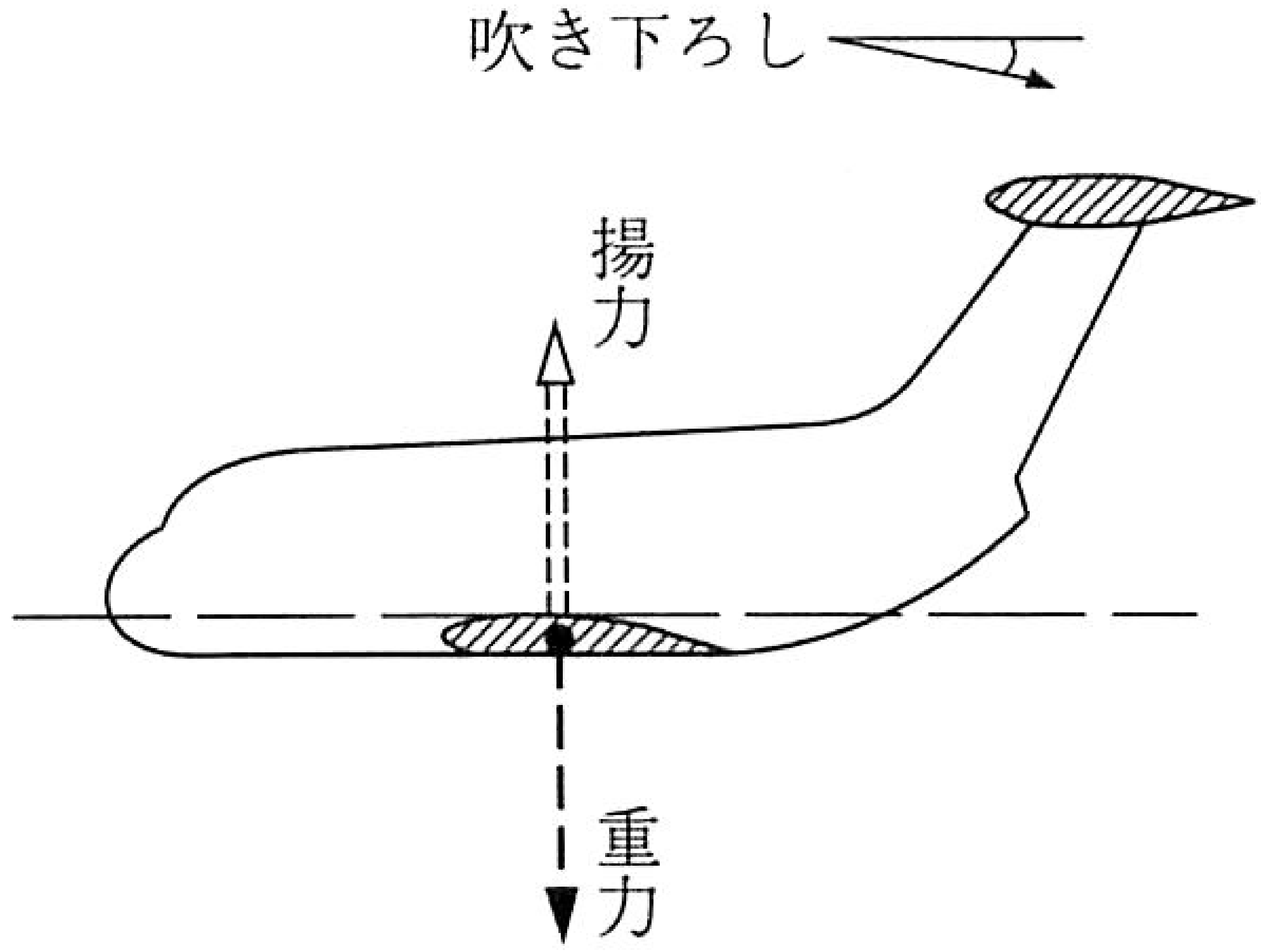

I－9　着氷した翼の揚力特性

もう一つの着氷形IIIの特徴は、先が二またに分かれていることである。この型の着氷は雲の中の温度が比較的高いときに現れ、表面は光沢をもち、グレーズ・アイスと呼ばれる。この型の氷がなぜ二またになるのであろうか。それは過冷却の霧粒が翼の前縁に衝突するとき、温度が比較的高いので、衝突してもすぐには凍らず、液状のまま上下に分かれて短い距離を流れた後凍りつき堆積するからである。この形の着氷が起きると、翼の揚力特性は非常に悪くなる。図I－9に見られるように、迎角八度で翼は失速し、最大揚力係数

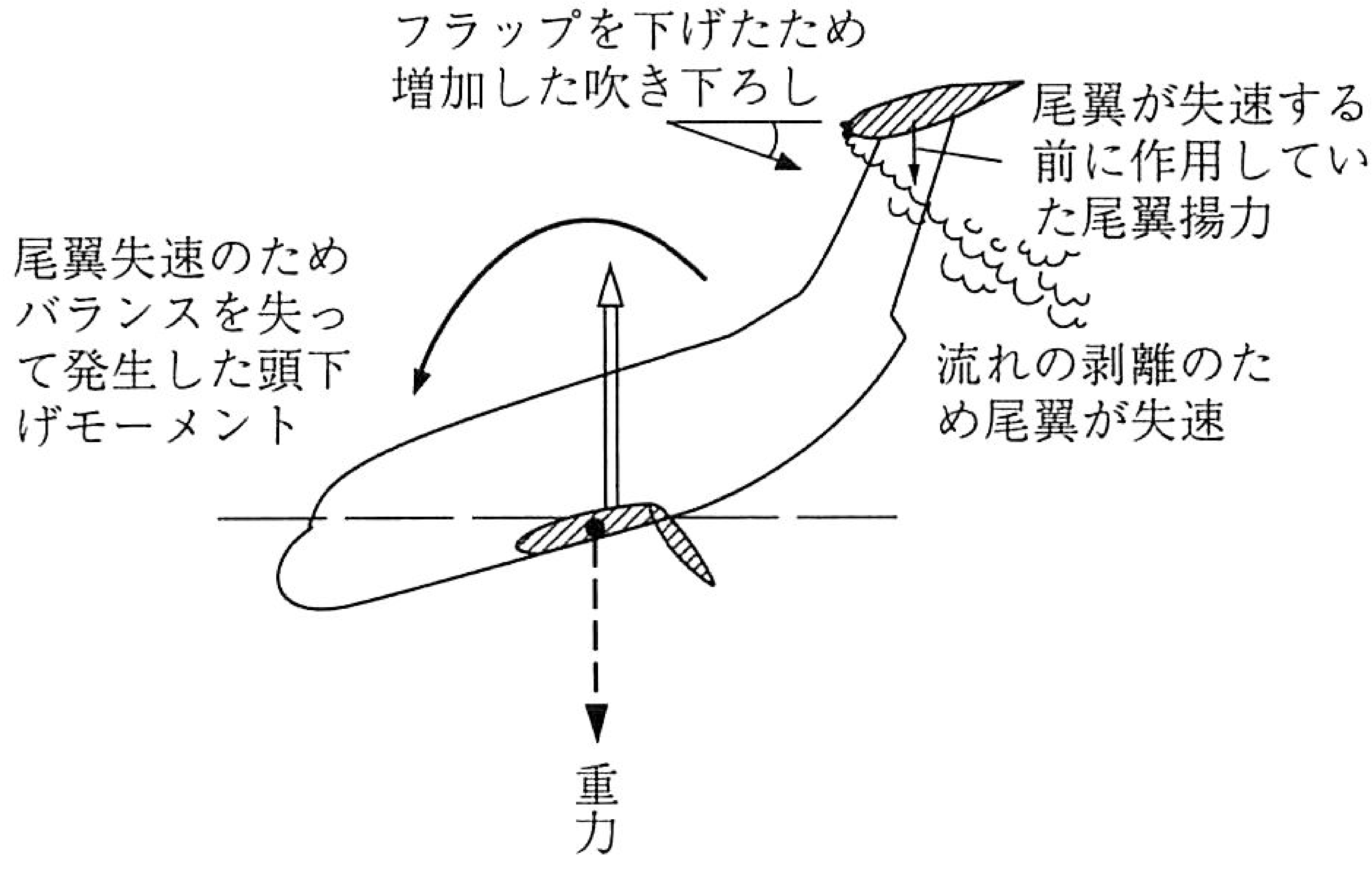



Ｉ-10　事故を起こした飛行機の翼に付いたライム・アイス(下)とグレーズ・アイス(上)

も〇・七にまで落ちる。
図I―10の下部には、北フィンランドで事故を起こしたツインオッター機の垂直尾翼から回収されたグレーズ・アイス性の氷の写真を、また同図の上部にはストックホルムで事故を起こしたセスナ二一〇型機の主翼に付いたグレーズ・アイス性の氷の写真を示した。
大型機の主翼の前縁は、着氷を予防するため加熱したり、付いた氷を落とすため、ゴム製のブーツを空気で膨らませたりするための装置が取りつけられている。そのため、主翼の着氷で失速し墜落する事故は少なくなった。ところが、一九七〇年代に当時短中距離路線で活躍していたバイカウント八〇〇型機やイリューシン一八型機などのターボプロップ機が着氷条件下で飛行中、墜落する事故が多発した。
調査の結果、これは尾翼に氷がついて起きたものであることがわかった。それまでは主翼やエンジン空気取入れ口の着氷が注目され、それが事故に結びつくメカニズムも理解されていたのに比べ、尾翼の着氷のメカニズムは当時はよくわかっていなかったのである。そのため、着氷条件になっても尾翼の防除氷装置のスイッチを入れなかったり、着氷が起こったあとの処置が悪かったりしたため大事に至ったのである。
一九七七年、スウェーデンのストックホルム近郊のブロマ空港で発生したバイカウント機の墜落事故はその典型的な例である。それは厳冬期の一月一五日に起きた。そのバイカウント機




a）正常な飛行状態



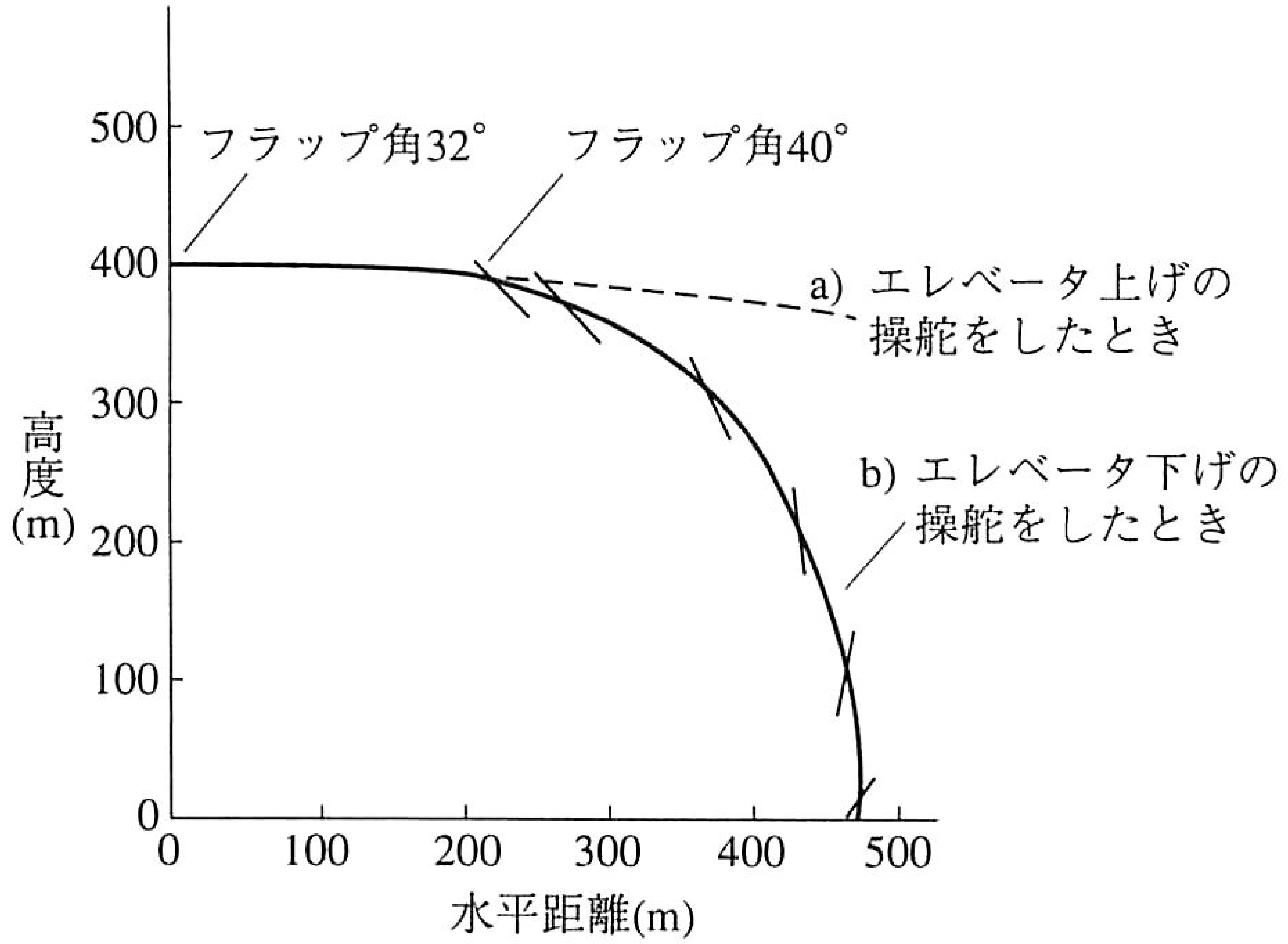

b）フラップ下げで尾翼失速が起こったときの飛行状態

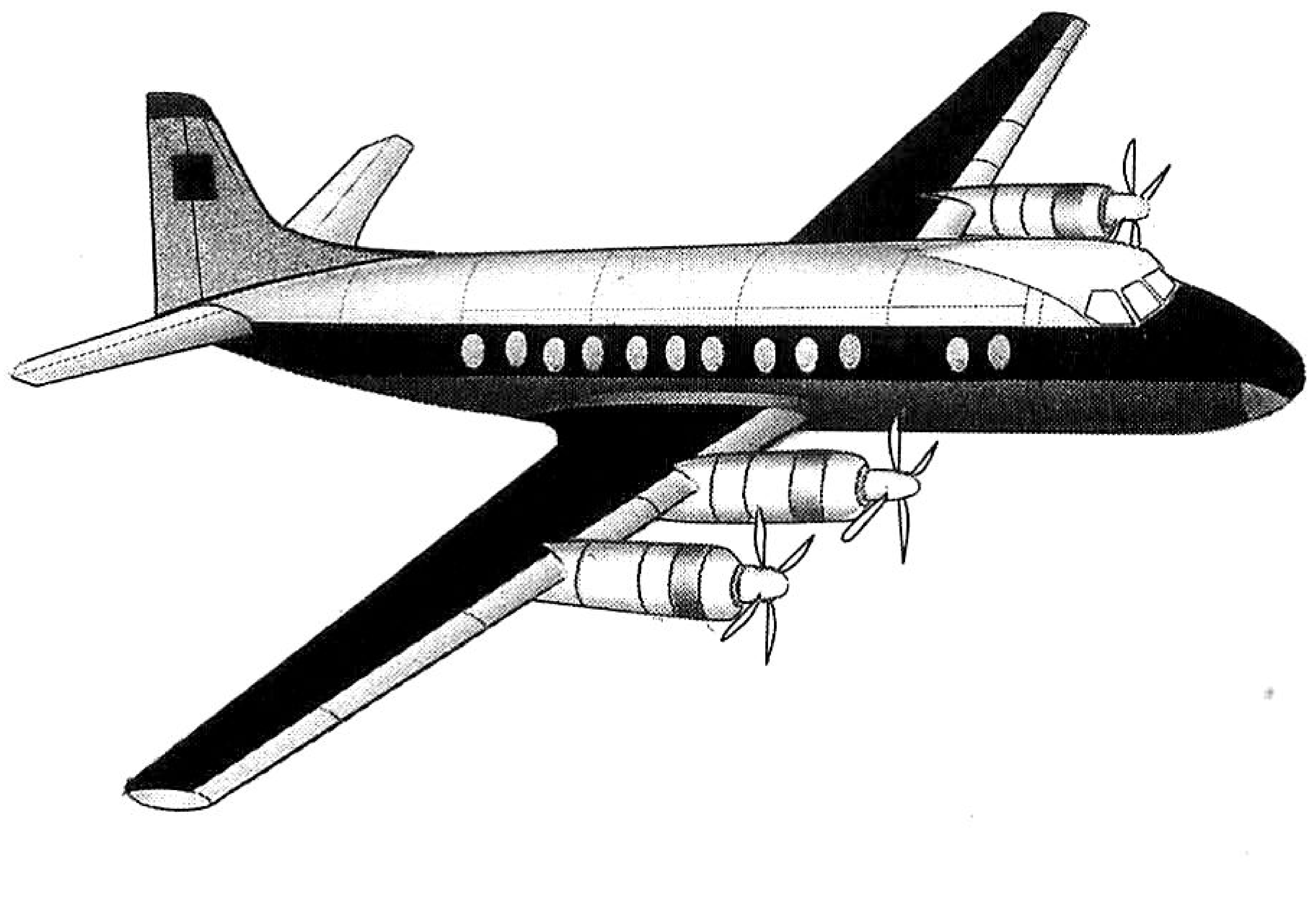
Ⅰ-11　尾翼着氷で起こるピッチダウン

は厳しい着氷条件下で着陸しようと進入した。飛行機が進入するときは速度を落とすにつれて翼のフラップを逐次下げていく。その最終段階ではフラップは三〇~四〇度以上にもなり、このような高揚力形態では尾翼は主翼の後流の強い吹き下ろしの中にある。また、フラップ下げによって、主翼に大きな頭下げモーメントが発生するので、釣り合いをとるため尾翼には大きな下向き荷重（揚力）がかかり、そのため尾翼の下面では流れが剝離しやすい状態にある。そのとき前縁に氷が付くと尾翼は失速を起こし、そのため機体は激しいピッチダウンに入る（図I—11）。

バイカウント機は、事故の二分前にフラップを二〇度に下ろした。三〇秒後フラップを三二度に下ろしたとき、飛行高度のふらつきが起こった。おそらく、この時点で尾翼に着氷がはじまったのではなかろうか。機長は操縦していた副操縦士に「ゆっくり、そっと、ほんの、ほんのちょっと修正」と指示した。墜落の二〇秒前、フラップを四〇度にした。すると突然、機体の姿勢が変わった。機は激しいピッチダウンを起こし、急降下に入っていった。フライトレコーダには下向き最大加速度一・四Gが記録されている。機体はものすごい力で下向きに引っ張られたのである。操縦桿はパイロットの手からもぎ取られるか、重くて引き戻すことが出来なかったものと推測される。地面に衝突したとき、ピッチ角は垂直を通り超し、マイナス一一〇度であった。高度三〇〇メートルで落ちはじめてから地面に激突するまでたったの六秒、あっとい

う間の出来事であった（図Ⅰ―12）。
フラップを四〇度に下げたあとの飛行経路から推定すると、パイロットは機の突然の降下を主翼の失速が原因であると思い違いをして、エレベータ下げの操舵を行ったらしい（表中のb）。もしエレベータ上げをしていたら、急激なピッチダウンは起こらなかったはずである（表中のa）。当時、尾翼失速の現象がよく理解されておらず、パイロットに十分な情報が与えられていなかった事情を考えると、この間違いもやむをえないことかもしれない。
あとになってみると、この事故の前にスウェーデン国内航空のプロペラ機コンベア・メトロポリタン機が三度起こした小事故も、尾翼着氷によって説明できることがわかった。三度目の場合はやはりブロマ空港で起きた。この飛行機のパイロットは滑走路の手前一キロメートルで操縦桿を一杯に引いたにもかかわらず三〇～四〇度のピッチダウンを起こした。パイロットはその直前にフラップを二五度から四〇度に下げたことが、このピッチダウンの原因ではないかと考えて、フラップをもとへ戻したのがよかったのだ。機首が上がって大事には至らず着陸できた。
同じように、バイカウントの同型機も、それ以前にアメリカとノルウェーで、着氷条件と四〇度のフラップ角に関連した小事故を三度、重大事故を二度起こしていることがわかった。そのうち、一九六三年の例では、フラップを三七度から四〇度に下げたとき機首が重くなって、



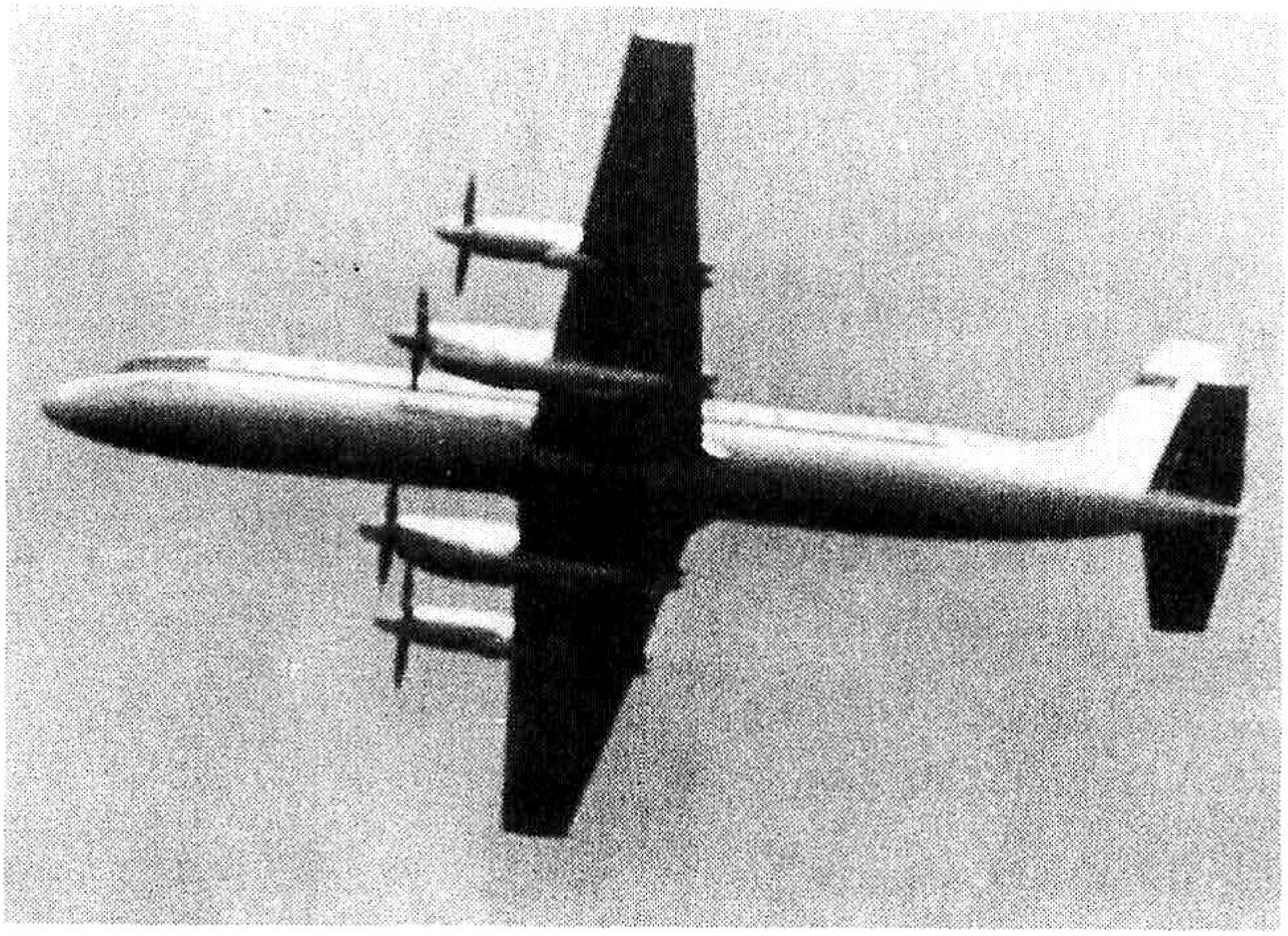
Ⅰ−12　着氷で墜落したバイカウント機の飛行経路

機長が副操縦士に助けを求めて二人がかりで機首を引き起こしたほどだった。

そのあと、今度は機首が上がり過ぎたため、やはり二人がかりでそれを抑えた。このようなことを何度か繰り返したあと、やっと着陸できた。尾翼には長さ三八ミリの角型の氷が気流中に突き出すように付いていた。このとき、尾翼の防氷装置のスイッチは切られていた。

当時、ソ連も同様な問題に悩まされていた。一九七三年にブルガリア航空のイリューシン一八型機（旧ソ連製の四発ターボプロップ機）がモスクワのシェレメチェボ空港で同様な事故を起こしていたからである。このとき空港上空は、高度三〇〇メートルから一二〇〇メートルまで、密な層雲で覆われ、雲中は着氷条件下にあった。このイリューシン機は、一度着陸に失敗したあと復行し、再度進入を開始した。フラップは二段階で一〇〇パーセントまで下げられた。

異常事態は墜落の一〇秒前からはじまった。最終進入開始点を指示するアウターマーカーを通過したとき、機の高度は、地上からの電波によって指示されたグライドスロープから、下に一五メートルもずれていたので、パイロットは高度を回復するため、機首上げ操作をし、続いて機首下げ操作をした。このときのエレベータは下向き八度であった。固定式の水平尾翼が強い吹き下ろしを受けているときエレベータを下げると、水平尾翼は翼型としては特性の悪いものとなって下面の流れが剥がれやすくなり、尾翼失速の危険性が高くなる。このイリューシン

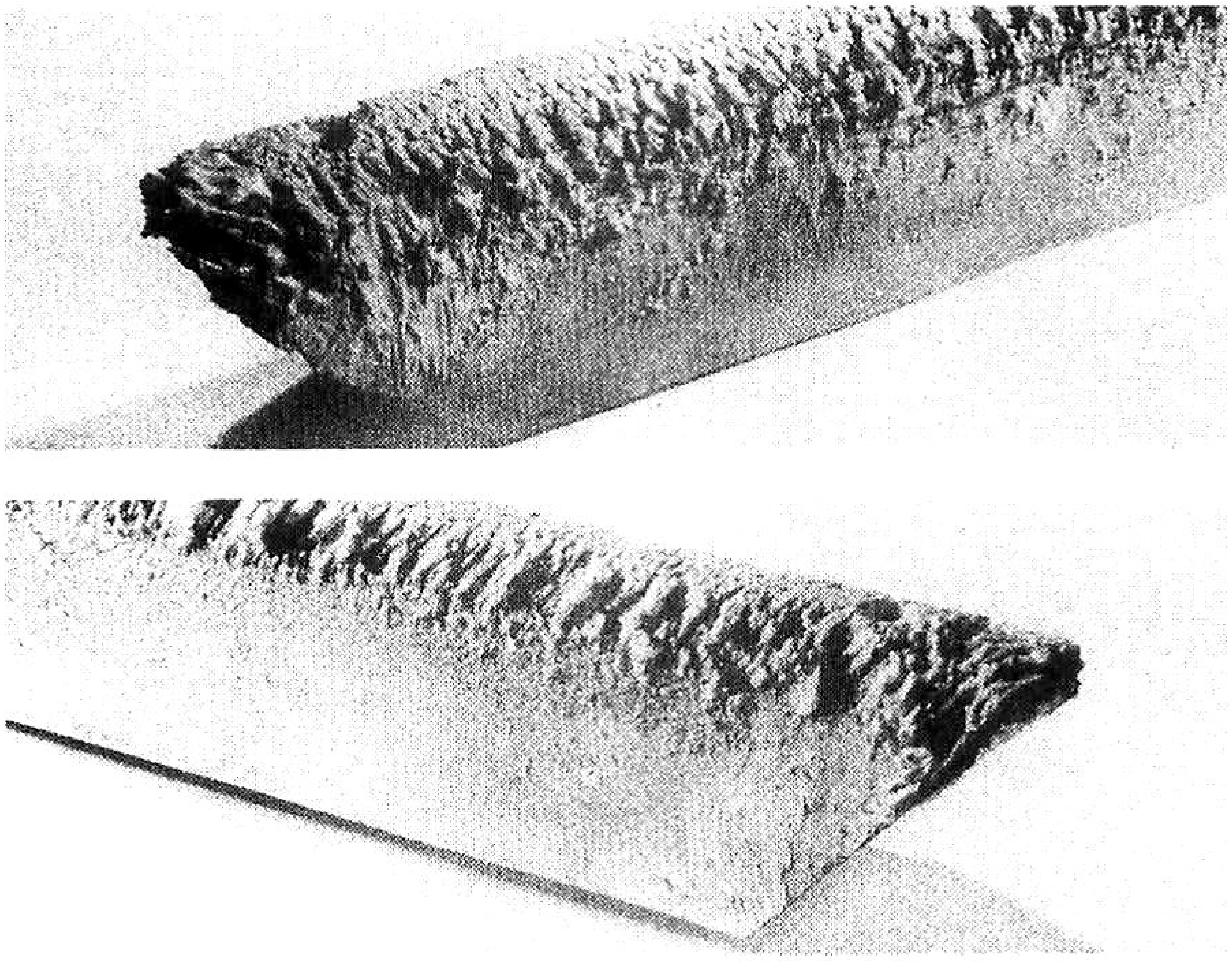


I－13　イリューシン18型機（提供：毎日新聞社）

機（図I―13）も、尾翼がにわかに失速し、エレベータは押し下げられストッパーに当たってそこにロックされてしまった。機体はピッチダウンを続け、ピッチ角マイナス八〇度で、ほとんど垂直に地面に激突した。このとき機体には下向きに一・五Gもの空気力がかかっていた。

このような事情で、ブロマ空港での事故を契機として、スウェーデンと旧ソ連邦は共同作業グループを作って、この事故原因解明のための研究に乗り出した。

この研究は、モスクワの着氷風洞での翼の着氷形状の研究と、そのデータをもとにしたスウェーデンの低速風洞での空気力測定、および、ソ連側の飛行実験からなる包括的な計画にもとづくものであった。着氷風洞で実際に翼模型上に着氷を起こさせてその形を型にとり、それを



I－14　風洞試験に使用した着氷翼模型

使って空気力測定用のプラスチック模型を作った。

図I－14には、その模型の一つを示した。前に掲げた図I－9の揚力特性は、その模型を使ってスウェーデンの風洞で測定した結果である。

アントノフ一〇型機の飛行試験の結果から、興味ある事実がわかった。試験はエレベータ角をステップ状に下向きに操舵した。ピッチダウンが起こって尾翼に対する吹き下ろしが増した。そのとき、尾翼前縁にくさび型の氷が少量(厚さ八ミリ程度)付いていたが、操縦桿に加わる力は、はじめは増え、さらにピッチダウンが進むと尾翼が振動するとともに保舵力が減り、操縦桿に手ごたえがなくなる。これはエレベータの大部分が、剥離した流れの中に入った

ことを示唆し、機体の運動が制御不能に陥る危険性がある。八ミリ程度の氷は厳しい着氷条件では二～四分で付いてしまうから、この条件下で飛行するときは遅滞なく防氷装置を作動させなければならない。

そのほか、この研究から、尾翼には微量の着氷があっても危険であること、フラップを下げているときは異常な操舵力の減少には注意しなければならないこと、尾翼失速が起こったらフラップを引っ込めるのが唯一の有効な操作であること、主翼の失速の場合と異なり、速度を増すことは事態をますます悪くすることなどが結論とされた。

現在では、尾翼着氷が危険なことがわかり、そのメカニズムも理解されてきたため、現代のジェット輸送機は要所に着氷を防ぐ防氷装置や、付着した氷を除去する除氷装置をつけるなどの対策が講じられ、その結果、飛行中の着氷が原因で起きる事故は減る傾向にある。飛行中はよほど激しい着氷がなければ、飛行に支障をきたすことはない。しかし、それに代わって最近問題になっているのは、地上で激しい降雪があるときに待機中に起きる着雪（氷）である。

この種の事故が、最近になっても起きていることは、翼の微量な付着物でも、恐ろしい効果を生むことについての認識が、一般には未だに欠如していることを示している。

一九八二年の一月一三日、米国で大統領のお膝元、ワシントンのポトマック川にフロリダ航空のB七三七型機が墜落し、乗客多数が凍りつくような水の中で溺死した。これは場所が場所

だけに、多勢の市民の見守る前で起こった。そのため、世間に与えた衝撃も大きかった。この事故の原因は、地上で待機しているあいだに主翼に氷が付いたのに離陸を行い、十分な揚力が得られず失速し墜落したものである。

その後も一九八七年一一月にコンチネンタル航空のDC九型機がデンバーで、一九八九年三月にオンタリオ航空のF二八型機がオンタリオ州ドライデンで、一九九一年二月にはライアン国際航空のDC九型機がクリーブランド・ホプキンズ空港で、また一九九二年三月にはUSエアのF二八型機がニューヨークのラ・ガーディア空港で、いずれも翼の着氷のため離陸に失敗し事故を起こしている。


朝日新聞 夕刊

米旅客機 橋に激突

ワシントン 豪雪の惨事

乗客ら約70人死亡

ポトマック川に墜落

ホワイトハウスへ二キロ

寒波の犠牲134人に

エンジンの故障か

1982年１月14日　朝日新聞夕刊より

オンタリオ航空の事故では、到着時刻の遅れのため、機長は次の

空港での乗客の乗継ぎを心配していた。そのうえ、ドライデンにくるまえに補助動力装置が不作動になったため、地上でもエンジンを回しっ放しにしなければならなかった。オンタリオ航空の規定では、地上ではエンジンを回しながら防氷装置を作動させることを禁じている。そのため、離陸中、スラッシュ（水分を多量に含んだシャーベット状の雪）が翼に凍りついた。

機長が激しい降雪中にもかかわらず離陸を決断したのは、会社が定めた運航スケジュールを守ろうとする、いわゆる生産圧力と呼ばれる心理的負担があったためと思われるが、そればかりではなく、機長自身が、積もった雪は離陸中に翼から吹き飛ばされると信じ込んでいたためとも推測される。運悪く、離陸直前になって雪が激しく降り出した。翼の上に雪と氷が積もった。F二八は滑走路から浮上し七〇〇メートル飛んだ後、樹木に突っ込み、乗客乗員六九人中二四人が死んだ。

USエアの事故機の機長は、着氷を一応警戒していた。誘導路をタクシー（誘導路をゆっくり自走すること）しているとき、地面から巻き上げられたスラッシュでフラップが汚れるのを避けるためフラップを上げてタクシーする、と乗客に告げた。また、数回、翼を照らして雪と氷をチェックしたと生存した副操縦士は証言している。しかし、その程度のことでは着氷があるかどうかはよくわからない。そのうえ、規定の速度まで加速する以前に機体を引き起こした。ピッチ角が一五度になったとき激しいバフェットが起こった。翼面から流れが剝がれて、

それが乱れて尾翼や機体後部に当たったため振動が起きたのである。

着氷と速度不足のため、翼は失速直前の状態にあった。F二八は左に傾き、翼端が滑走路を最長三〇メートル以上も擦った。機は滑走路を左側に飛び出し、左翼は着陸機に対し飛行コースを指示するための電波信号を発信するILSローカライザーにぶつかり、胴体はランプ室に食い込んでそれを破壊した。機体はそれから滑走路左側の築堤を飛び越え、両翼をもぎ取られて、フラッシング湾の水中に左わき腹を下にして、ほとんど仰向けになって止まった。機長と一七人が溺れて死亡、九人が衝撃で死んだ。

オンタリオ航空とUSエアの事故によって、F二八型の主翼はどんなに僅かな付着物があっても、クリーンな翼が本来もっている緩やかな失速特性が失われることがわかった。オンタリオの事故を調べたカナダの委員会は、一平方センチ当りに一個一〜二ミリメートル相当の粗さがついていても、F二八は地面効果から抜け出し飛揚することができないことを見つけた。USエア機の機長が、暗闇の中で操縦席から点検したくらいでは、その程度の僅かな着氷を見つけるのは難しかったかもしれない。このように離陸前の着氷着雪が離陸性能を劣化させることが予想されているのに、メーカーとエアラインのマニュアルで、離陸中と四六〇メートル以下の高度では主翼と尾翼の防氷装置の使用を禁じている。

なぜであろうか。それは、この装置を作動させるとエンジンから高温高圧の空気が抽気され

て翼の前縁を暖めるのに使われるため、エンジンの性能が低下するからである。もちろん、離陸前に地上の係員が丹念に氷を落し、そのあと防氷液を翼面に流すから、通常ならこれで着氷着雪は防止される。問題は地上で待機する時間が長い場合、この防氷液の効果がなくなることである。

北米で使われているのは、タイプ一という防氷液であるが、普通の降雪中では約一五分間効果が持続する。しかし、凍雨中では僅か三~五分しかもたない。ところが、ヨーロッパで使われているタイプ二と呼ばれる防氷液は、通常の降雪中なら四五分以上の防氷効果が持続する。これはヨーロッパでは過去二〇年の使用実績があり、好評を得ている。

米国でタイプ二の使用がためらわれているのは、この液が滑走路上に流れてブレーキの効果を劣化させるのではないかと疑われたこと、コストがタイプ一の二倍と高いことなどが理由として挙げられている。その所有権がヨーロッパの航空会社に属することにも関係があるようである。しかし、度重なる事故に対し米議会筋も防氷対策に関心を示し、これを受けて連邦航空局は専門家を集めて着氷による航空機事故を無くすための訓練、および運航プロシジュアを検討しているから、その法制化も近いと思われる。

## 鳥吸い込み

鳥は空の先住民である。鳥は人類の恩師でもある。古代人は鳥の飛ぶのを見て空に憧れた。レオナルド・ダ・ビンチは鳥の飛翔を詳しく観察し、羽ばたき翼をもつ飛行機を考えた。ところが今日、飛行場に行ってご覧なさい。鳥を追い立てる専門家が何人かいて、日に何度かパトロールし、いやがらせをして鳥を追い払っている。

鳥のいやがる音をスピーカーで出したり、煙を立てたり、空砲で脅かしたり、挙げ句の果ては実弾射撃までやる。それほど鳥の衝突は飛行機にとって厄介なしろものなのである。図Ⅰ—15に主な鳥撃退法を掲げた。

目の敵にされるのは、わが国ではトビとカモメである。重量がせいぜい一～二キログラムしかないこの小動物が、どうして数百トンのジェット機の飛行の邪魔になるのだろうか。それは鳥が飛行機の弱点を突くからである。その弱点はエンジンだ。

鳥がエンジンに飛び込むと、まず当たるのが回転しているファンのブレード（羽根）である。このブレードは、ファン一段当りは数十枚もあるから、鳥がぶつかって一枚や二枚曲がったり壊れたりしたくらいでは安全上それほど問題はない。問題は、鳥がその奥の中心にあるコア・エンジン（圧縮機や燃焼器やタービンがあるエンジンの心臓部）に飛び込んだ場合である。

もしそれが、高速で回転している圧縮機のブレードに当たり、ブレードが折れて、遠心力の

| | 方法 | 問題点 | 効果 |
|---|---|---|---|
| 警報音 | スピーカー音<br>（1）固定音<br>鉄砲音<br>航空機接近音<br>鳥の警戒声<br>（2）移動音<br>鉄砲<br>航空機 | 多数のスピーカーが必要<br>周囲の民家に聞こえる<br>航空機の離発着に同調させる<br>多数のスピーカーが必要 | なかなか逃げない<br>鳥に対しては有効<br>広い場所で効果薄い<br>試用の価値あり |
| | 爆音<br>（1）ガス爆発<br>（2）爆竹<br>（3）煙火（花火） | 着火に人手が要る | 音，煙，臭いをともない鳩，雀に効果あり。鳶は逃げない |
| 光 | 発光ストロボ | 航空法規定の類似灯火と見られないものであること | オレンジ系が効果<br>地上より機上設置が有効 |
| 水 | 散水 | 離発着に同期，<br>鳥のいる場所に限らねばならぬ，<br>風の影響 | 未定 |
| 超音波 | 可聴帯域外<br>18～30kHz | 多数のスピーカーが必要<br>距離減衰が大きいので広範囲には向かない | 未定 |

［安全飛行(全日空)156号 p42の表7を参考に作成］

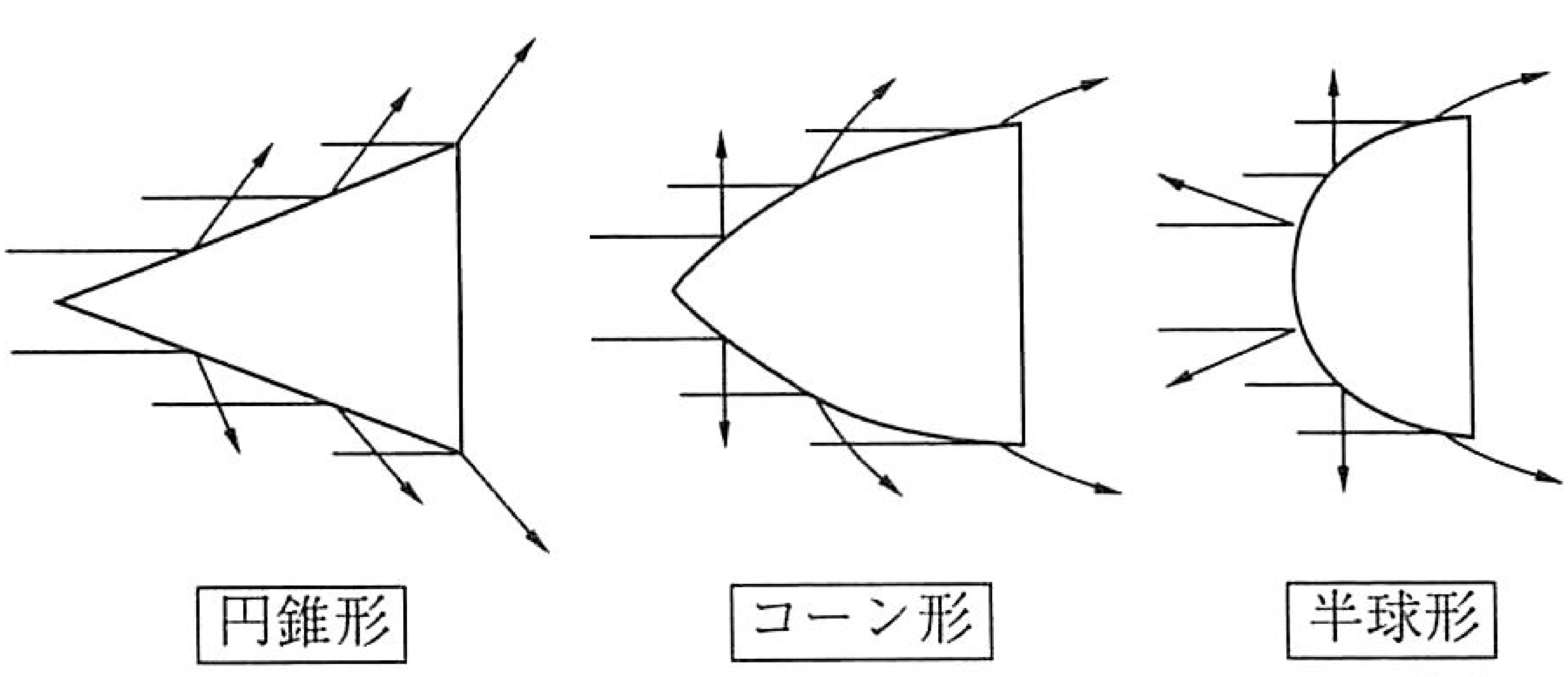
Ⅰ-15　主な鳥撃退法

ためケーシングを破って外へ飛び出すと、III章で述べるユナイテッド航空のDC一〇型機（九七ページ）のようなことになりかねない。

この最悪の事態を迎えなくても、コア・エンジンの中の流れをふさぎ燃焼を妨げ、そのためエンジンの作動を停止するようなことがあっては一大事である。

もちろんエンジン側でも、対策がいろいろ講じられている。コア・エンジンの前方に突き出しているスピナーの形を工夫して鳥を外周部へ跳ね飛ばし、コア・エンジンに入らないようにするとか、ファンのブレードを頑丈にして飛び込んだ異物に回転速度を与え、遠心力によって、外周部から外へ抜け出すようにするとかの工夫である（図I―16）。

よく鳥は、大きな目玉を怖がるという。田ん




I－16　鳥吸い込みを防止するスピナー形状

ぼの中にも、一つ目の風船がふらふら浮かんでいるのを見かける。では、スピナーの先端部に中心をずらして大きな目を描いても同じ効果があるのだろうか。回転すると同時に上下左右にも動くので鳥が目を回すのだろうか。鳥に聞いてみたいものである。

エンジン以外の弱点はフラップである。離着陸するときはこれを展開しているので鳥が衝突すると破損することがある。小型機では尾翼に鳥が当たっても危険である。

現在、世界各国で鳥衝突対策を専門に取り組んでいる官民の団体が、カナダ、米国、ドイツ、スイス、英国、フランス、などの諸国に数多くある。米国とフランスのは政府関係のようである。米国では、軍も独自の委員会を持っている。

### 火山灰

エンジンが吸い込んで事故を起こす目に見えない敵は、火山灰である。

一九八九年一二月一五日、オランダ航空八六七便のB七三七型機がアムステルダムを成田に向かって飛び立った。アラスカ上空にさしかかったときは、夜だった。そのときエンジンの空気取入れ口に明るい閃光が輝き、風防ガラスのまわりには静電気の放電と思われるほの白い光が見えた。

客室の中はもやがかかったようになり、塵がテーブルを覆った。焼けたほこりのような、き

なくさい臭いや、硫黄の臭いがした。そのうち、一分と経たないうちにエンジンが四つとも全部止まってしまった。機の高度はみるみる七五〇〇メートルから五三〇〇メートルまで落ちて、眼の前にロッキーの山頂が迫ってきた。

パイロットは必死で七、八回エンジン再スタートを試みた。はじめ第一、第二エンジンが回り出したが、それまでに三分半かかり、残りの二つのエンジンがスタートするのにさらに三分半かかった。恐怖の七分間だった。

アメリカ地質調査所が原因解明に乗り出した結果、実は、その一時間半前に付近にあるリダウト火山が爆発し、電子顕微鏡でしか見えないような数ミクロンから数十ミクロンの硬い鋭いエッジをもった火山噴出物の粒子が静電気をもち、コックピットの窓に当たってセントエルモの火を放ったことがわかった。二四ページで述べたように、セントエルモの火は、雷雲中の激しい上昇気流中で雨滴や氷晶が分離するとき帯電が起こり、近くの地物に放電して発光する現象である。なぜ、これが飛行中の飛行機に起きたのだろうか。

オランダ航空機の場合は、氷晶ではなく火山灰が摩擦で静電気を起こしたのである。では、火山灰がエンジンに吸い込まれると、どんなことが起こるのだろうか。

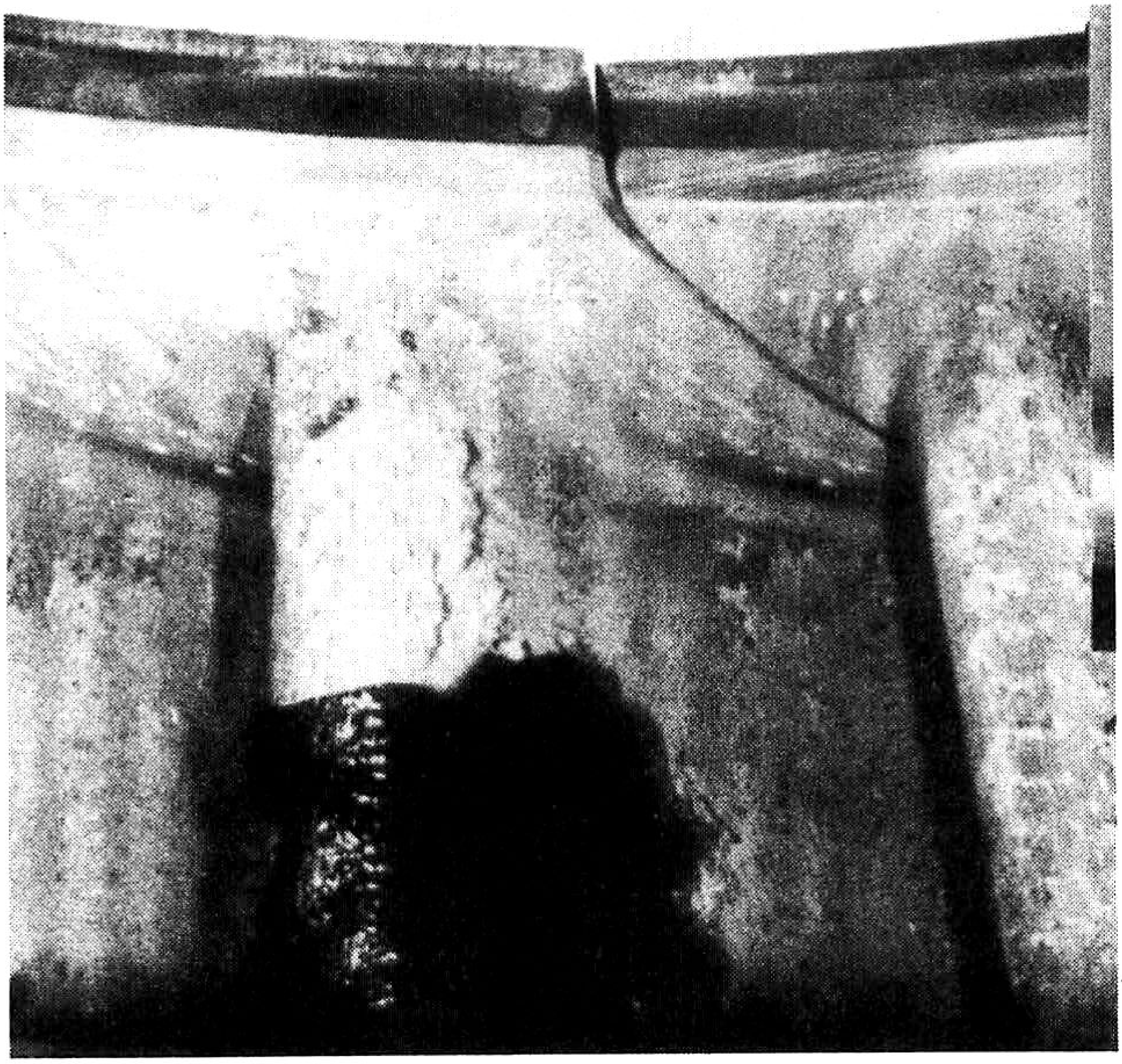
火山灰の成分は玄武岩質、安山岩質、流紋岩質の岩石である。珪酸化合物の含有量が多いほど、噴出物はざらざらした粒子が多くなり、また、高空まで噴き上げられる傾向がある。珪酸

化合物の主なものは曹長石である。曹長石は、窓ガラスより硬く、エンジンの回転翼を侵食するには十分な硬さ（硬度スケールで曹長石は六程度、窓ガラスの硬度は五、やすり鋼は六・五）である。

しかし、被害がそれだけならまだよい。具合の悪いことにエンジン内部は火山灰が溶けるのに都合がよい温度になっているのである。火山灰のうちガラス質のものは溶融点が六〇〇～七〇〇度で、結晶質のものは一一〇〇～一三〇〇度であるから、ガラス質のものは、エンジンをフライトアイドル以上のどの推力に設定しても、（つまり、エンジンが回ってさえいれば）燃焼室やタービンの中で容易に溶けてしまう。推力を最高に上げると結晶質の火山灰まで溶けてしまう。

実際、被害に遭ったオランダ航空機のエンジンを調べてみると、圧縮機のブレードがやすりで削られたような侵食を受けており、また、燃焼室から高温の気流をタービンに導くノズル・ガイドベーンに火山灰が溶けてべったりと付いていた（図Ⅰ－17）。そのため、空気が通ることができる有効断面積が著しく減り、また、タービン翼の表面に開けられた冷却空気孔が塞がれていた。空気通路が塞がれれば、十分な量の空気が流れなくなり、エンジンは停止するおそれがある。

また、ブレード表面から冷却空気が出なくなると、タービンブレードは一三〇〇度以上の高

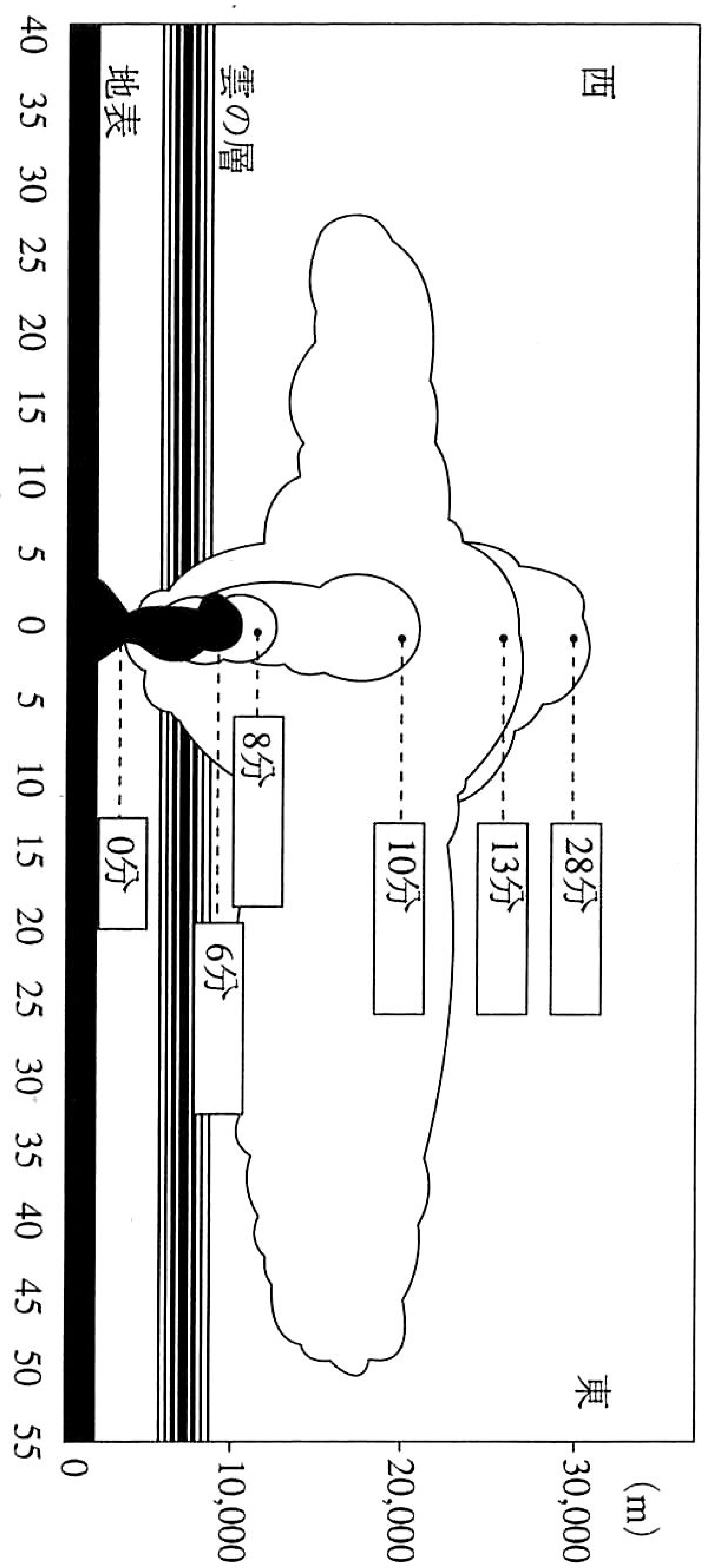


Ⅰ-17　エンジンのタービン翼に付着した火山灰溶融物

温気流に曝されることになり、材料強度が落ちて破壊する危険性がある。その他、オイルの汚れ、フィルターの目詰まり、インレット・コーンの侵食などが起こり、再スタート性能が劣化するので、エンジン破壊に至らないまでも、エンジンが一旦停止すると墜落の危険がある。

したがって、火山灰に遭遇したことがわかったら、飛行高度を下げることができるときは、エンジン推力をフライト・アイドルまで下げ、いちはやく火山灰雲から脱出するのがよい。

では、火山灰はどの程度広がる




**I–18**　セントヘレンズ火山の噴煙の広がり（1980．5．18）

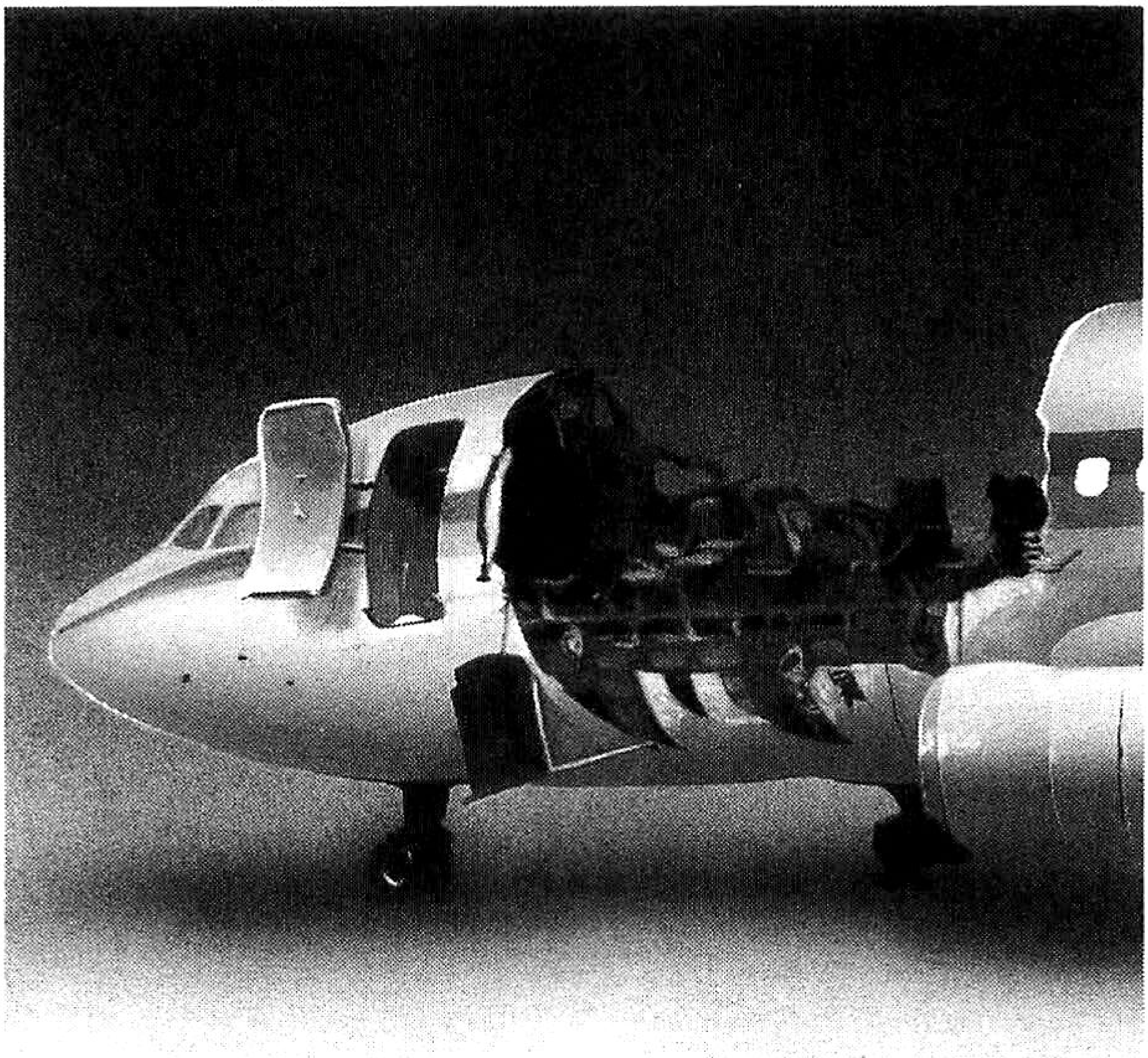
のだろうか。最近の大噴火として有名なセントヘレンズ火山の場合（図I—18）は、水平方向には九五ノット（約一七六キロメートル毎時）の速さで広がり、六時間でワシントン、モンタナ、アイダホの三州の一〇〇〇〇キロメートルの範囲を覆った。上方には噴煙柱は二万四〇〇〇

メートルのオゾン圏にまで達した。一九九一年六月のフィリピンのピナツボ火山の噴出物は七〇億立方メートルの膨大な量（普賢岳は一・一億立方メートル）に達した。トラブルに巻き込まれたジェット機の数は一六機で、一〇〇〇キロメートル以上離れた場所でも、トラブルは起こったという。

運航に当たっては、火山活動区域を飛行するのを避けるのが第一であるが、問題は火山灰雲が気象レーダーでは捕捉しにくいことである。それは粒子が霧粒や雨滴に比べてはるかに小さいため、レーダーの電波エネルギーをほとんど反射しないからである。出力が弱い機上用レーダーではなおさら探知困難である。大出力の管制レーダーを使えば火山灰探知の可能性がある。

できるだけ早く火山灰情報の通報体制の整備が望まれる。

# II　壊れる機体
## —構造—



## 吹き飛んだ天井

ジェット輸送機の胴体の外側には、音の速さに近い高速の気流が流れている。その流れは機体外板と擦れあって乱れ、音を出し、この騒音は客室の中でも聞こえる。それほどこの気流は速い。もし飛行中、胴体に大きな穴が開いてこの気流が客室に流れ込んできたらどうなるだろうか。

あなたは風圧で機外に放り出されるかもしれない。運よく何かにしがみついて吹き飛ばされなかったとしても、気流にさらされた顔面と皮膚は、風焼けを起こし、あなたは痛みに耐えかねてうめき声をあげるだろう。あるいは、機体が前後左右に揺すられるため鞭打ち症にかかる。

この悪夢のようなシーンが一九八八年四月二八日、現実に起こった。

ハワイの島々の間を運航しているアロハ航空の二四三便B七三七型機は、ホノルルからマウイ、ヒロと飛んだ後、帰路についた。ヒロ空港を離陸、上昇し、高度七三〇〇メートルで水平飛行に移ったとき、異常な音がした。見るとファーストクラス客室の天井がなくなっていて、そこには空が広がっていた（図II―1）。

与圧していた客室の空気が、その開口部から勢いよく外に流れ出し、前方五列目に立っていた客室乗務員の一人が機外に吐き出されて行方不明になった。客室内の気圧は、たちまち〇・



II－1　天井が吹き飛んだアロハ航空機（提供：共同通信社）

四気圧以下に下がった。いっぽう、頭の上を高速の気流が吹き渡った。乗客は呼吸困難になりパニック状態に陥った。

コックピットと後方の客室との連絡が絶たれたため、パイロットは、事態をよく把握できなかったが、異常事態発生と判断し、緊急降下に入った。機体は右に左に揺れ、操縦に対する反応が鈍く感じられた。降下率は最大で毎分一二五〇メートルに達した。この降下率は、構造強度から許される極限の値である。マウイ空港に緊急着陸するため、エンジンのパワ・レバーを押して推力を上げ、進入マヌーバ（決められた飛行経路に乗るための操縦）を開始したが、機首が左に偏揺れをはじめた。機長は左エンジンの故障を疑ったが、あとで、それは客室の床が曲がったため、エンジンのコントロールケーブル

が切断されたからとわかった。

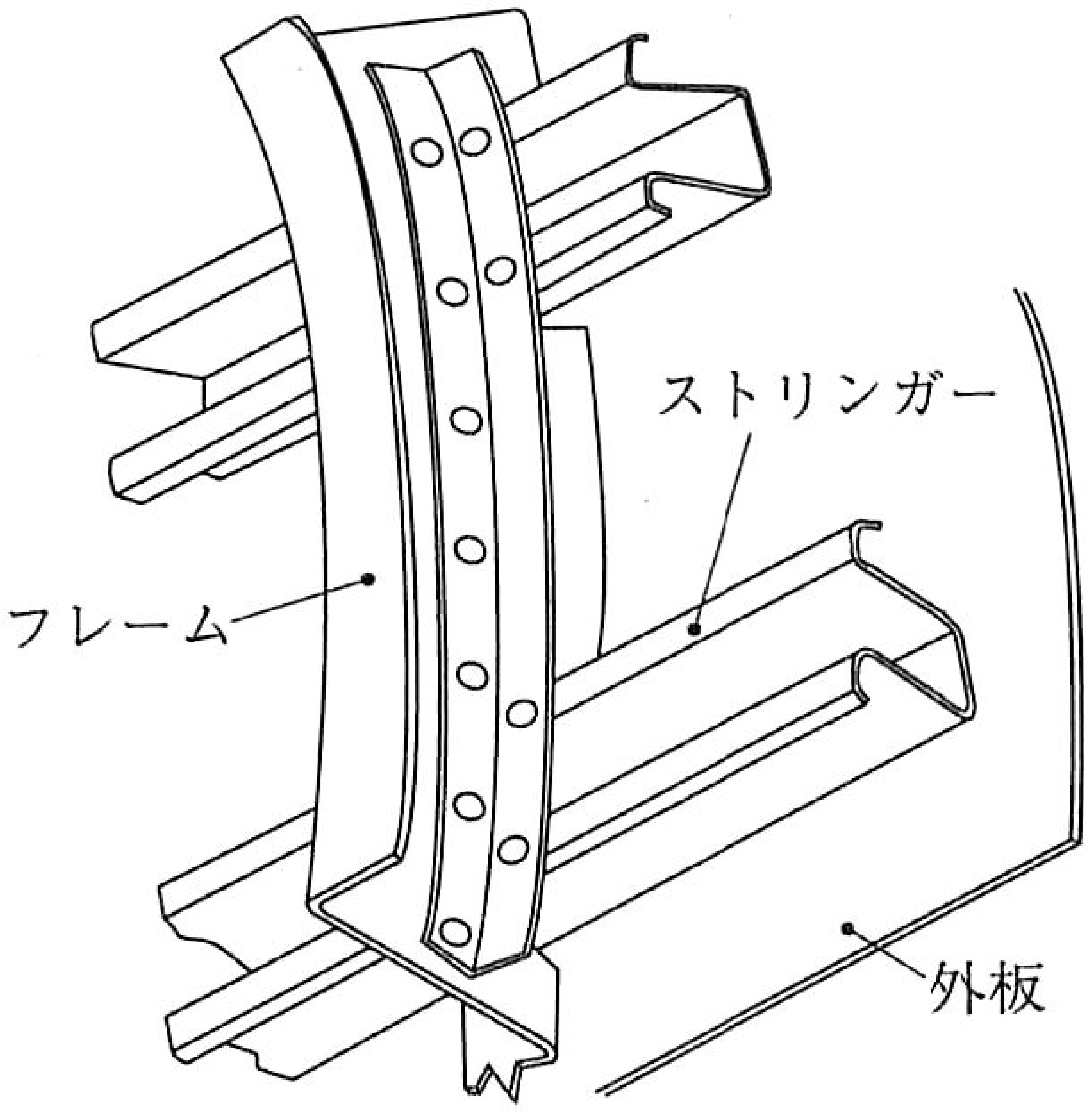
フラップを五度以上下げると操縦困難になったため、五度に戻した。そのため一七〇ノット(約八七メートル毎秒)というかなりの高速で進入しなければならなかった。緊急降下から着陸までの二人のパイロットの働きは見事で、行方不明の客室乗務員以外は一人の死者もなかった。副操縦士は女性で、たまたま機長昇格訓練の最後の飛行であった。

事故機は一九六九年にメーカーから引き渡されて以来、一九年間飛び続け、延べ飛行時間は三万五四九六時間で、着陸回数は八万九六八〇回という、世界でも二番目の経年機(高齢機)であった。破壊した胴体外板は、前後方向には、客室入り口ドアのやや後方から翼の前方部分までの約五・五メートル、横方向には、左側の床の高さから右側窓の高さまでである。

破壊の直接の原因は外板の継目のリベット孔の周りに発生した疲労亀裂である。これは一九五〇年代のはじめに短い生涯を送った呪われたジェット機の早生児デハビランド・コメットにつきまとった金属疲労である。

金属材料でできている現在の航空機は、宿命的な金属疲労を免れることはできない。人間でいえば老化である。繰り返し荷重がかかると素材にははじめから存在していた金属学的欠陥や、機械加工の過程で発生した微小な空洞や割れ目から亀裂が発生し、それは荷重がかかるごとに成長して大きくなる。

飛んでいる飛行機の胴体には、まず、大きな曲げ荷重が加わる。この荷重は前後に走っている太い桁であるストリンガー（縦通材）が受け持っている。いっぽう、胴体を捻る力はそれほど大きくないが、それを支えているのはあの薄っぺらの外板なのである。外板は、それ以外に、フレームを介して伝えられる床重量のような内部荷重も支えている（図II－2）。




II－2　胴体の構造

二枚の外板を継ぐときは、二枚重ねてリベットで止める重ね継手（ラップ・ジョイント）の方法を用いるのが普通である。胴体が繰り返し捻られると、この継手のリベット孔のまわりに細かい亀裂が発生し、それが度重なると、この亀裂は次第に成長する。なぜ亀裂がリベット孔の周りから発生するかというと、応力が外板を伝わっていく途中で、孔や溝のような切り欠いた部分の鋭い縁（ナイフエッジ）に集中するからである（応力集中）。

亀裂がある程度大きくなると、その部材は強度が落ちて、大きな荷重がかかると破壊する。

機体の破壊によって起きた事故の大半は、製造時から構造部材にあった傷から発生した疲労亀裂によるものである。

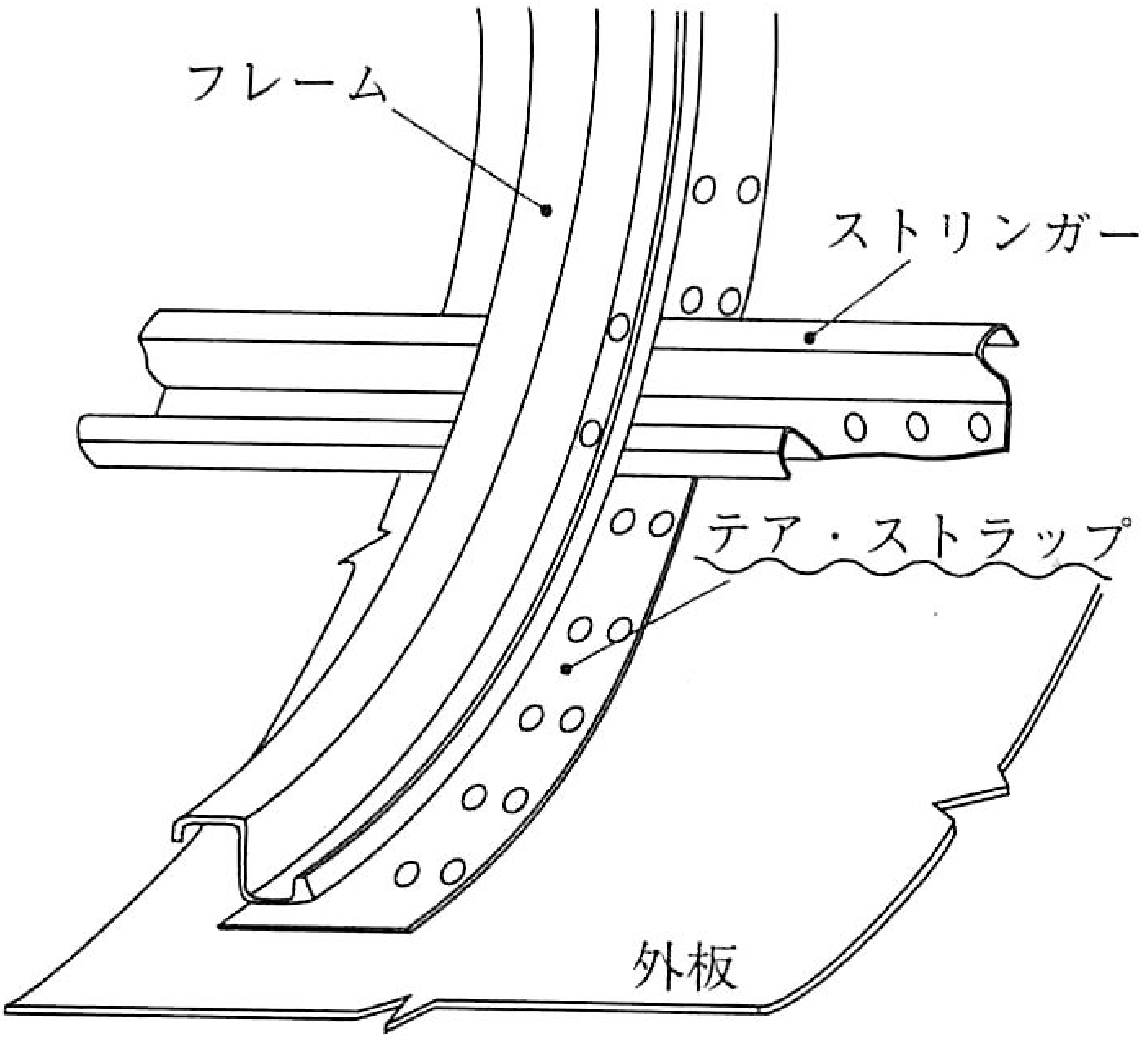
このほかに経年機の破壊の原因になるものに、腐食がある。腐食は機体全般に起こるが、とくに重ね継手で起こりやすい。なぜなら、その隙間に水が入ると、入口と奥とでは水の酸素濃度が違うため、電池と同じ電気化学反応が起こって、その部分の金属が「腐る」からだ。アロハ航空の事故機にも機体全体にわたって腐食が見られた。そのため、重ね継手に沿う膨れ、ファスナー・ベッドのへこみ、リベットの浮き上がり、塗料の泡、鱗片、剥片の発生が起こっていた。

腐食が関係したとみられる事故は、以前にもあった。例えば、一九八一年に中国で極東航空輸送に属するB七三七型機の胴体の下部に著しい腐食があり、そのため、亀裂が急速に進展し、客室床の梁とフレームが破壊し、そこを通っていたコントロールケーブルと電線を切断したため、操縦不能に陥り機体は空中分解した。

アロハ航空のB七三七型機の外板には、接着剤を使用した部分があり、その接着処理の不手際も破壊の一因になった。というのは、機体外板の要所にはテア・ストラップ（裂け止めの補強板）が取りつけられている。これは亀裂が成長しても、大きな裂け目が開かないよう外板をつなぎ止める目板で、いわゆるフェール・セーフ構造である（図II－3）。

このストラップの両端は、リベットで止められているが、全体は外板に接着されている。破壊した外板部分ではこの接着が剥がれ、折角のフェール・セーフ性も効果がなくなっていた。製造過程での表面処理と接着に欠陥があったらしい。

アロハ航空機の破壊には、そのうえ、普通に考えられているシングルサイト・ダメージ（SSD）ではなく、マルチサイト・ダメージ（MSD）である疑いがある。SSDとは、亀裂が一ヵ所で発生し成長して破壊に至るものであるが、その亀裂がかなりの大きさになるまでは破壊が起こらず、したがって、定期検査のとき目視検査で発見できる。これに対しMSDは、多くのリベット孔の両側から発生した微細な亀裂群がほぼ同時に成長し、個々の亀裂は小さいので定期検査では発見されないでいるうちに、隣り合った孔からの亀裂群が急速に成長して結合し、破壊に至るものである。



II－3　テア・ストラップ（フェール・セーフ構造）

密接したリベット孔の間では、この種の破壊

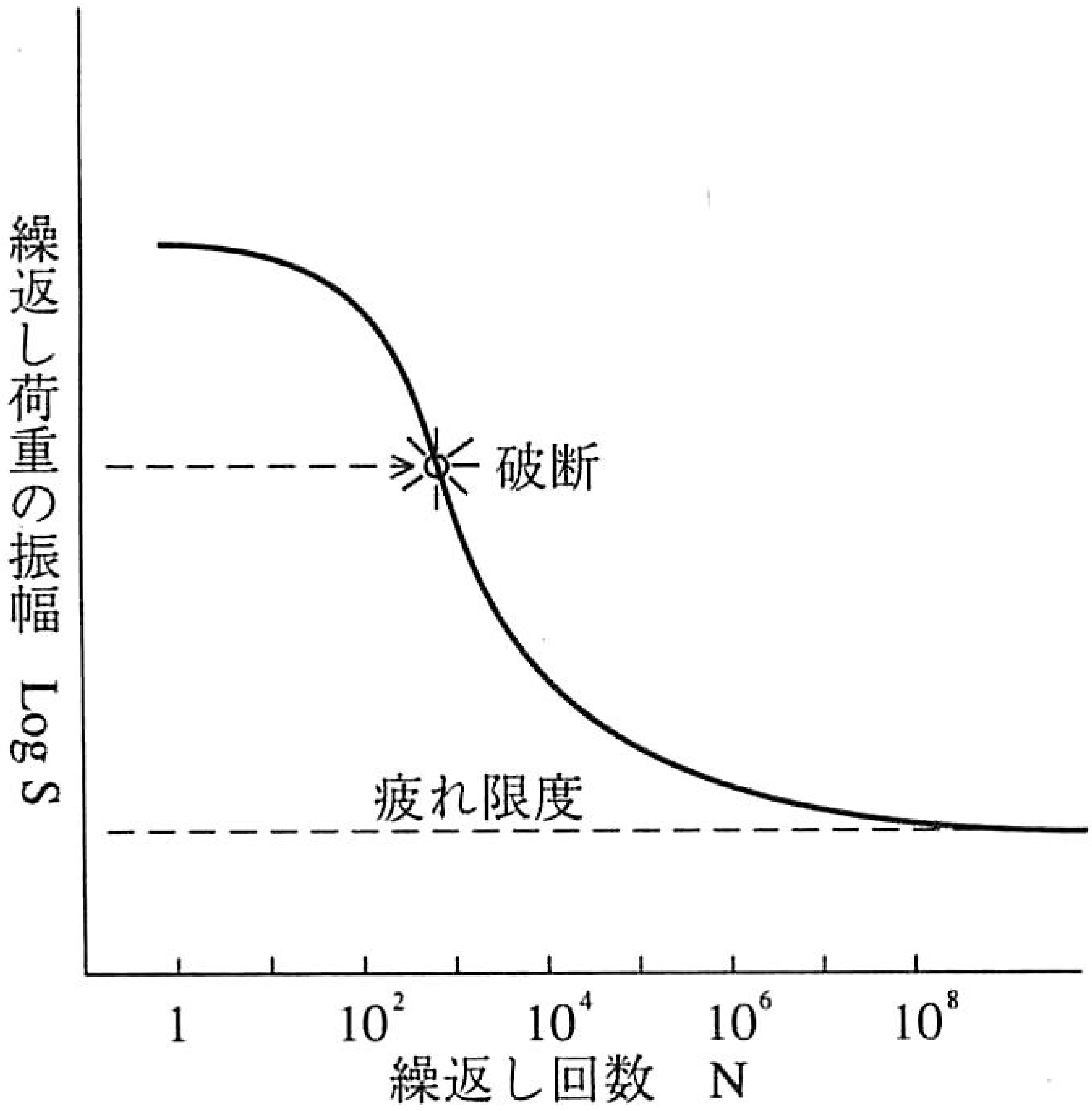
は丁度ジッパーが開くように起こる。しかし、全リベット孔から均等に亀裂が発生するような場合は実際にはなく、一～二個の亀裂が結合して大きなＳＳＤに発展し、破壊に至ると考えるのが普通であろう。

この事故は、機体の整備点検体制の問題点を浮き彫りにしただけでなく、機体構造の安全設計の考え方を見直すきっかけになった。古典的な安全寿命（セーフ・ライフ）設計法では、使用期間中は疲労破壊がほとんど起こらないよう十分安全をみて設計する。この設計思想の基礎になっているのは、ある程度以下の小さな応力なら、金属でも繰り返し荷重によって疲労しないという事実である。この応力レベルを「疲れ限度」といい、材料によって値が違う（図II－4）。

基準をこの疲れ限度にとり、構造の強度を十分とって、応力がこの許容値以下になるようにするのが安全寿命設計である。しかし、この設計法では構造が重くなるのが欠点である。そこでこれに取って代わったのが、フェール・セーフ設計である。一九七〇年代に開発された広胴ジェット機は、この設計法によっている。

一九八五年、東京から大阪に向かう途中の日航機一二三便の圧力隔壁が裂け、コントロールがきかなくなり、ダッチロールという迷走状態に入った後に、群馬県御巣鷹山に墜落した。四人の生存者がいたものの、国内線史上、最大の死者を出した事故である。また、一九八九年一

二月にキャセイパシフィック航空のトライスターL一〇一一型機でも、香港を離陸したあと圧力隔壁が破裂している。このときはフェール・セーフ構造がうまく働いたため、日航機のような大きな事故には発展しなかった。この機体も、飛行時間が三万三〇〇〇時間という、アロハ航空の事故機なみの高齢機であった。原因はいうまでもなく、金属疲労である。




II－4　疲れ限度

フェール・セーフの次に現れた設計概念が損傷許容設計である。一九七八年一二月、米国連邦航空局は民間機疲労基準の全面改訂を行い「損傷許容設計」なる思想を導入した。この考えでは、材料中には製造や加工の過程で小さくて検査能力を超えるような損傷が発生しても、それは発見されないままに残ると仮定する。「損傷許容」の名はここからくる。この初期損傷から亀裂が成長する速度を破壊の力学の理論を用いて計算し、どこが危険箇所かを推定する。

この場合、理論計算だけでは信頼性が十分で

ないので、実機と同じ方法で製作された部分構造などを用いて行う強度試験のデータによって裏づけをする必要がある。

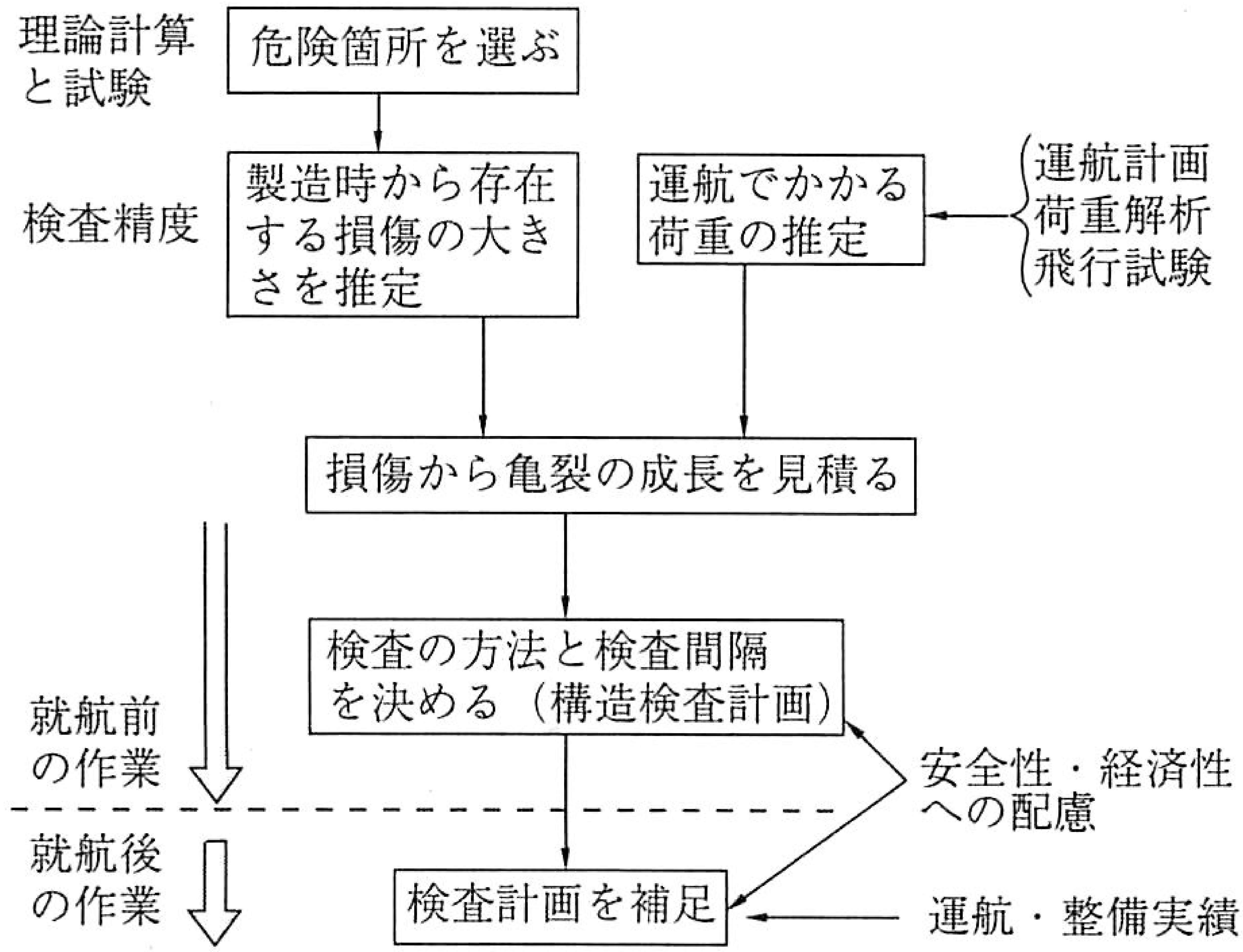
このデータから、どこを検査すればよいか（検査項目）と、いつ検査すればよいか（検査間隔）を決めて構造検査計画をたて、それを忠実に実施する。この危険箇所は、検査しやすいように設計時に配慮する。どうしても検査しにくい場所なら、そこに十分な強度をもたせる。図II－5には、この設計概念に基づく検査のやり方を図解した。

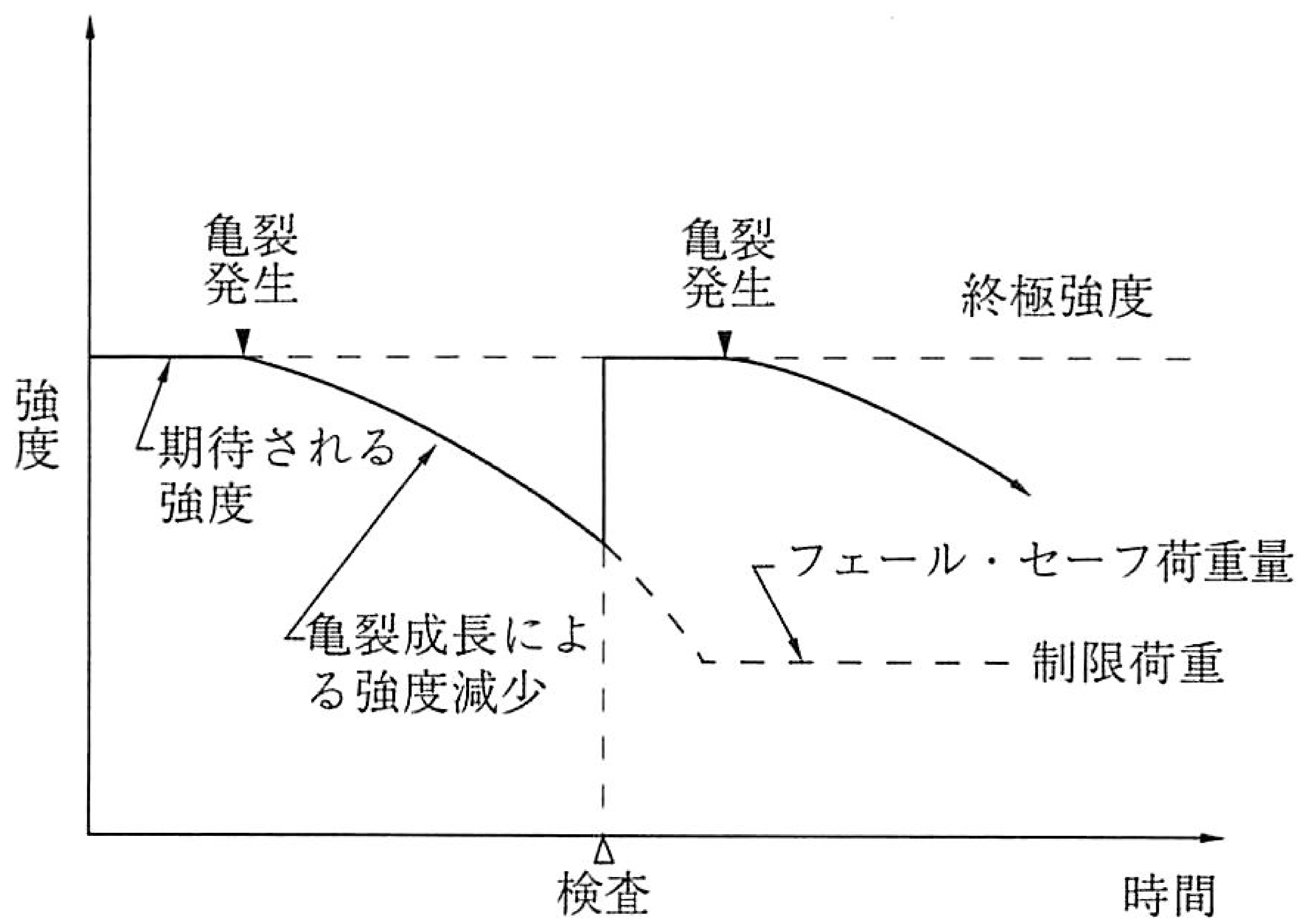
強度が亀裂伝播によって次第に劣化するが、それがフェール・セーフによる限界荷重以下にならないうちに構造検査が行われ、亀裂発生箇所が補強されるよう計画されている。

この設計法が出てきた一九七〇年代の初期には、中東紛争に端を発したオイルショックによって、世界の先進工業国が省エネルギーの必要に迫られた時期であった。米国では航空宇宙局NASAをはじめ主要な航空研究機関が競って省エネルギー航空技術の開発研究に力を注いだが、構造の軽量化はこの省エネルギー技術の一つの柱であった。

とくに、この損傷許容設計は構造材料に画期的な進歩がなくても、破壊力学と非破壊検査というソフトウェアの活用によって、経済性と安全性を両立させながら軽量化を達成することのできる、まことに御誂え向きの設計思想であった。

七〇年代末期に損傷許容設計法が法制化された理由は、この国際情勢を抜きにしては考えら




II－5　損傷許容設計における検査

れない。この設計概念は、構造試験によるバックアップがあるというものの、破壊力学の理論と非破壊検査法を全面的に信頼しなければ生まれてこない。それに加え、コンピュータによる構造力学シミュレーション技術が長足の進歩を遂げた事実が反映されている。

この設計法で設計された最初の商用輸送機は一九八二年に就航したボーイング七六七型機である。この旅客機はコンピュータ技術を駆使して高度に自動化されたコックピットをもつ、ハイテク機のはしりでもある。

この規準改訂時より前に世に出たB七二七、七三七、七四七、DC八、九、一〇の各型式に対しても、一九八一年から損傷許容設計に準じた構造検査を行うよう義務づけられた。

このように、米国は航空安全の分野で損傷許容設計思想によって理論武装したのである。この思想によれば、損傷が発生しても構造全体の致命的破壊に進まないうちにそれを点検によって発見し、補強したり部品を交換したりするなどの対策をとることによって、構造の安全は確保できる。たしかにこのような設計思想の進歩によって、機体とエンジンの構造破壊による航空事故は減った。図II－6に見るとおり、一九八〇年から一九八九年に起こった全損事故一二〇件のうち、機体などのハードウェアに起因するものは一三パーセント程度に過ぎない。

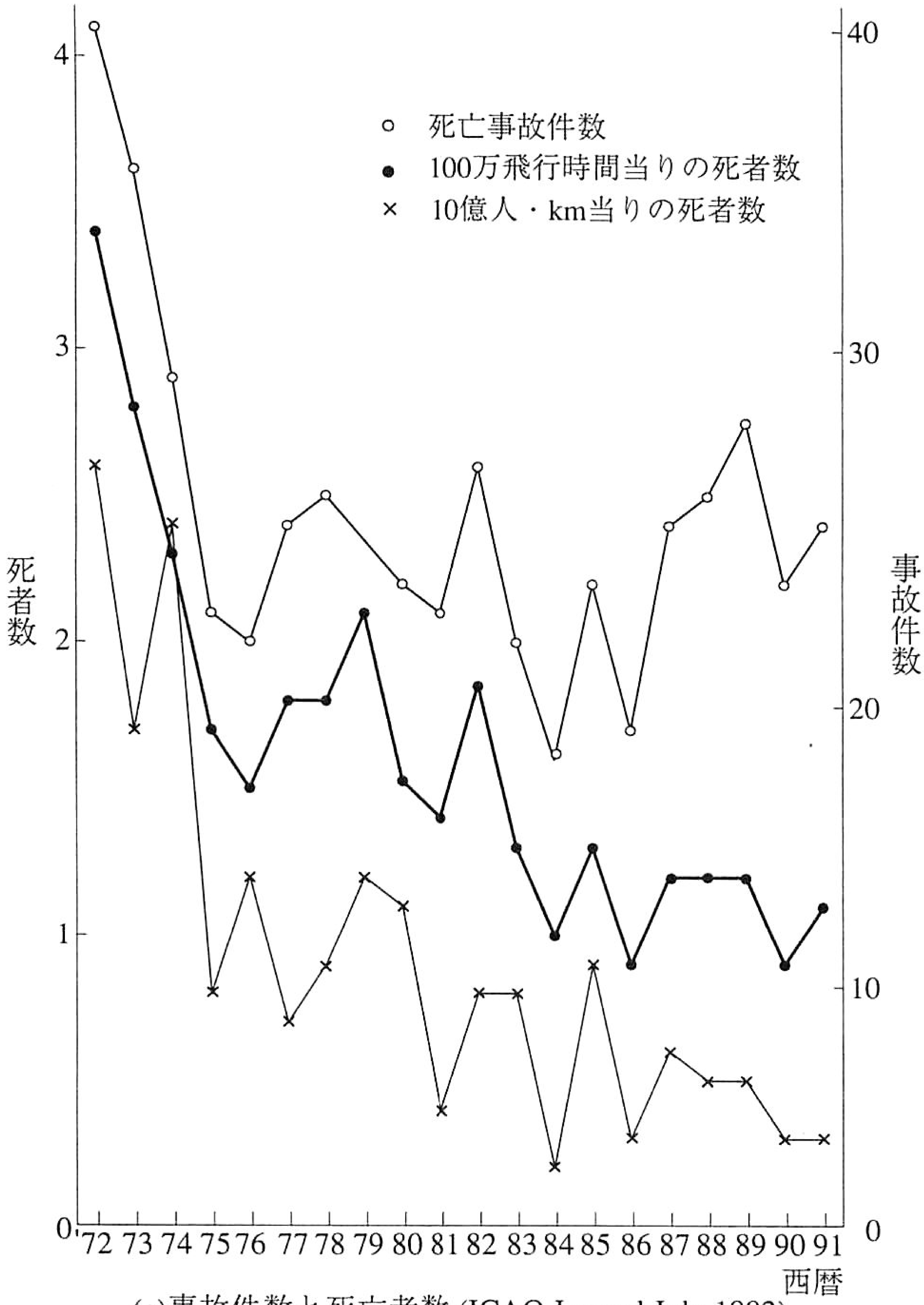
しかし、損傷許容設計にも、いくつかの問題点がある。亀裂成長を予測するにしても、それが腐食と複合して起きた場合は、正確な理論解析は不可能である。また、これを強度試験で確

認しようとしても、長い年月大気にさらさなければならないから、これまた困難である。

したがって、整備点検が検査計画どおりに実施されたとしても問題は残る。ましてや、整備が正しく行われなければ、損傷許容設計の前提が成り立たない。現に日航機の事故は、改修が正規の方法で行われなかったことが原因とされている。前述のアロハ航空の構造破壊、また、後述するDC一〇のエンジンディスク破壊による墜落事故などは、微小な亀裂の見落としが原因で起こったのである。

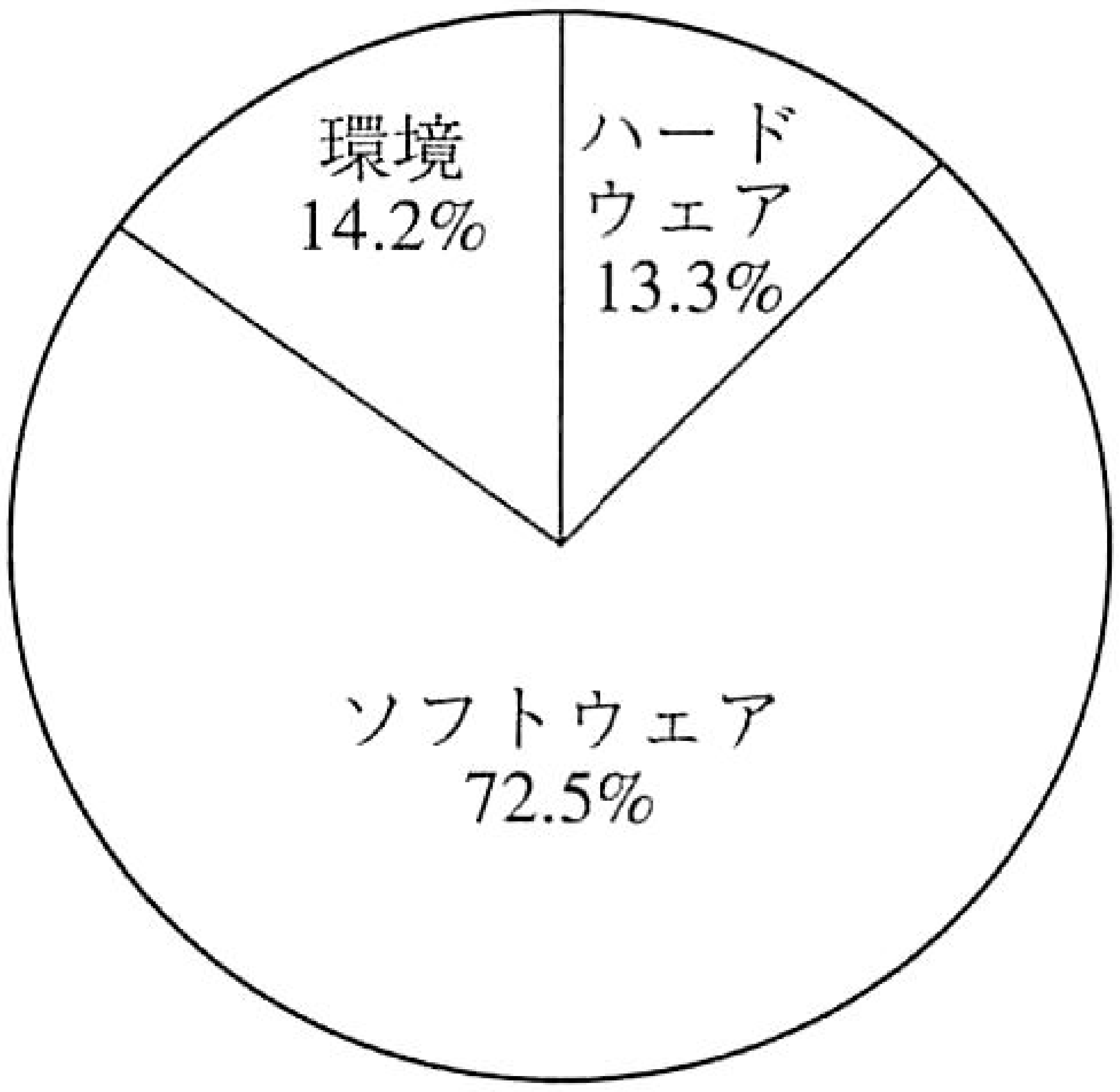
アロハ航空の事故について、米国連邦航空局のあるマネジャーは「適切に設計され、検査され、整備されていた。しかし、事故は起こった。……検査をいつまでも継続するやり方は、安全を保つためには受け入れ難い。……発生した問題の排除のためには部分の改造あるいは交換を行わなければならない」と語っている。つまり、検査に頼り切らずに早めに部品交換を、といっているのである。

航空界も不況の影響を受けて、機材の更新が遅れている。このままでいくと二〇〇〇年にはエアラインで運用年数が二〇年を超す機数が六四パーセントになると予測されている。とくに経営基盤が弱いため、安い経年機を他社から購入して運用している小さいエアラインでは、問題は深刻である。したがって、整備点検の信頼性を高めることは、世界のすべてのエアラインにとってゆるがせにできない重大問題である。

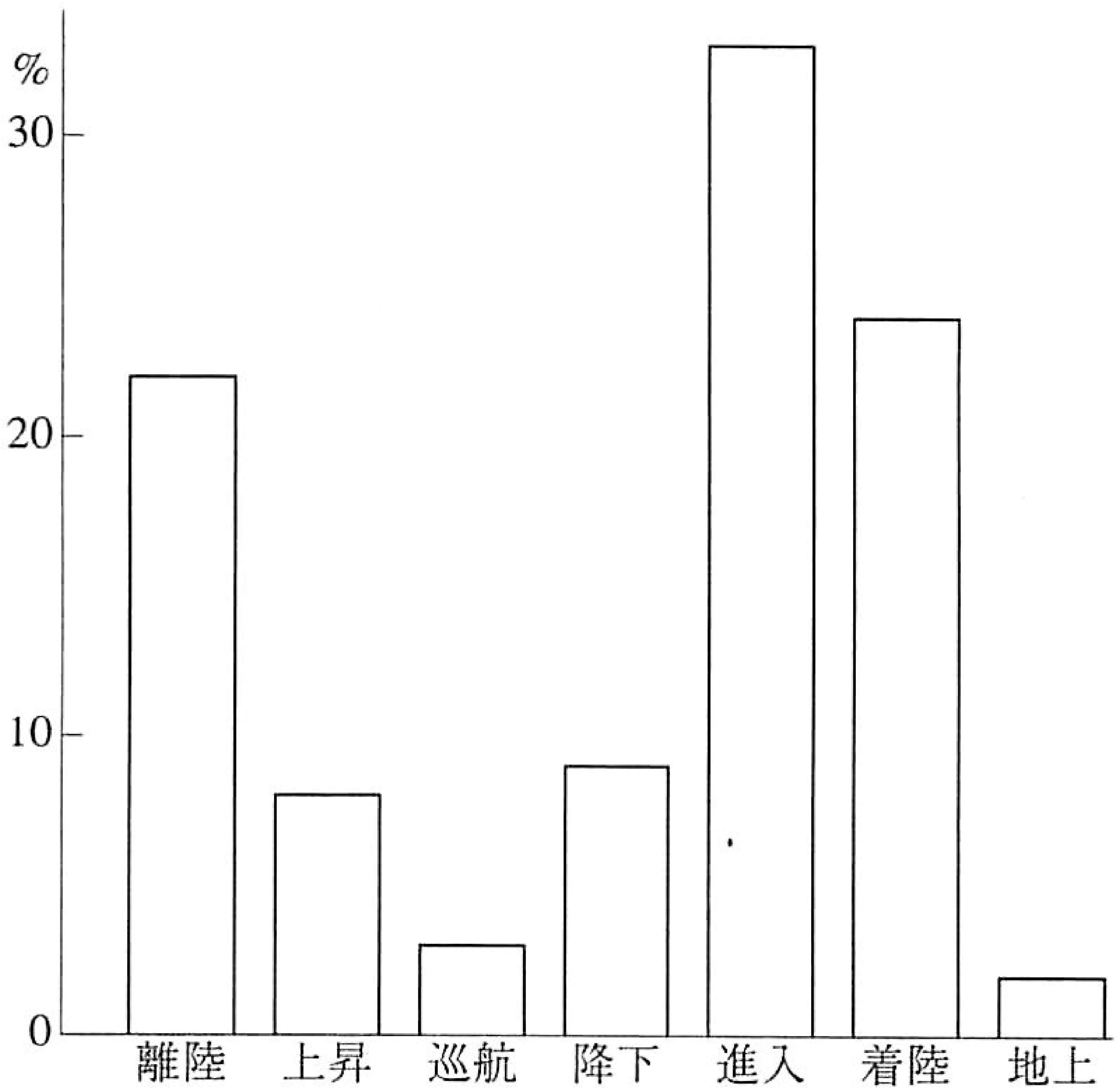


(a)事故件数と死亡者数 (ICAO Journal,July 1992)

## II－6　世界の定期航空の事故




（b）原因別事故統計
（1980～1989年の商用輸送機全損事故120件について）




（c）フェーズ別事故統計（1959～1987年）
（ルフトハンザ航空ハイノ・シーザー機長による）

Ⅲ章では、エンジンの構造破壊の事例を検討するが、そこでは整備の品質は、結局のところライン整備と検査を担当する人々の業務遂行能力に直接依存していることがはっきりする。そのような認識の上にたって、世界各国の航空界は、今、官民を挙げて航空機整備と検査に係わるヒューマン・ファクターの諸問題との取り組みを開始している。わが国も操縦士の問題としてだけではなく、整備業務に携わる人々にも共通する問題として、これに取り組む必要があろう。

## テロ

冷戦体制が終わったら、世界は平和になるかと思ったら、これまで全体主義体制のもとで抑圧されていた民族紛争が噴き出した。テロリストは相手国の威信を傷つけるためには手段を選ばない。その標的として航空輸送は、弱点の多い輸送機関である。世界中に張り巡らされた航空路網のどの一点からでも爆弾が積み込まれ、小さな爆弾でも多数の人命を殺傷でき、社会に与える衝撃も大きい。

一九八八年一二月二一日、マルタ島の空港の片隅に、監視する人もなく一個のスーツケースが放置されていたが、この中に恐ろしい爆薬が仕込まれていた。このスーツケースはリビアのトリポリからきたマルタ航空機に積み込まれ、フランクフルトで積み替えられて、ロンドンの


朝日新聞 夕刊

258人乗り米旅客機墜落

英国 炎上し人家巻き添え

日本人客は1人か

全員絶望 住民も15人死亡

次期防策定開始を決定

5年計画で来秋に原案

安保会議

社党 内閣不信任案を提出

インサイダー取引規制

「重要事実」数値盛る

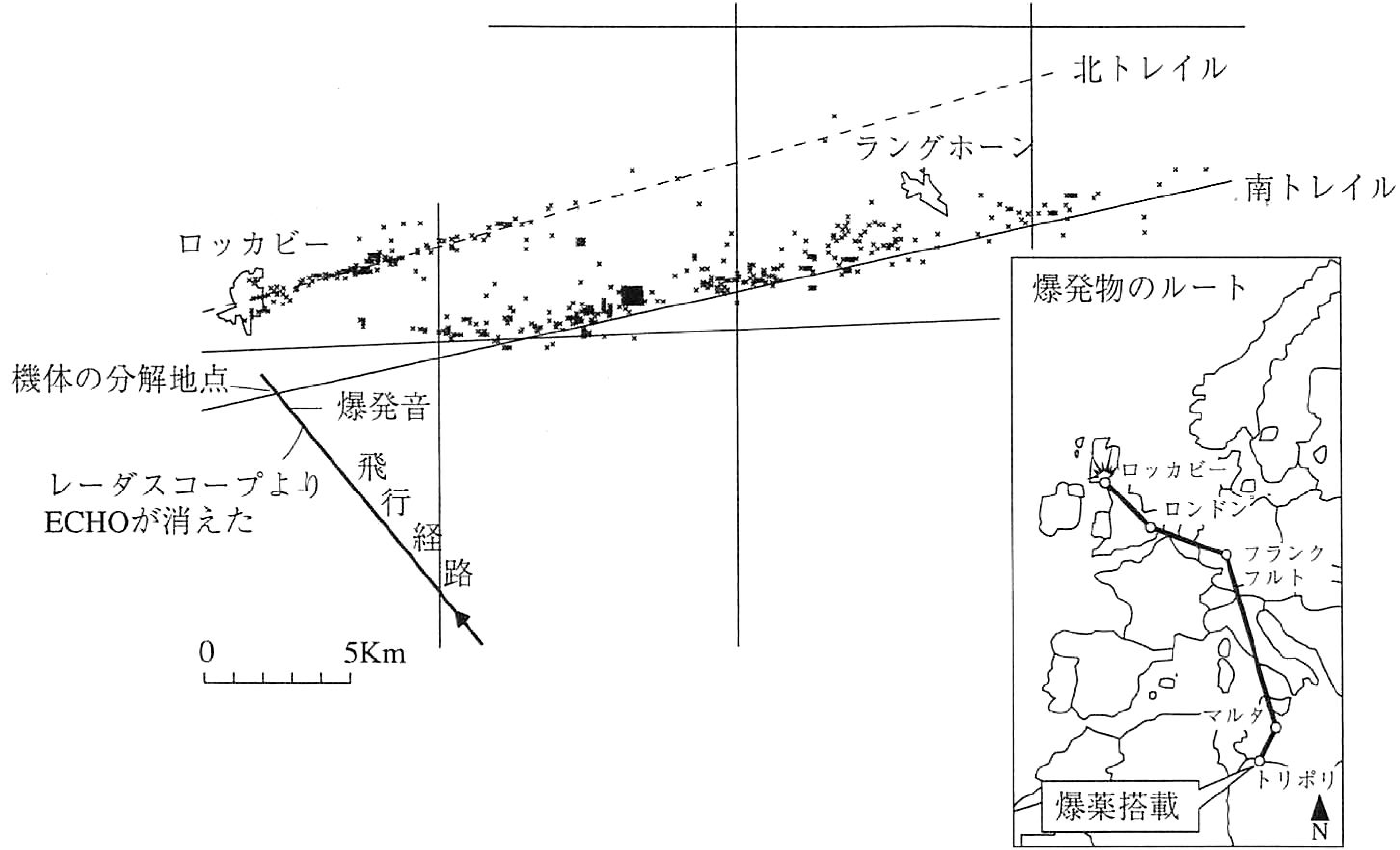
大蔵省 増減幅は10％基準



1988年12月22日　朝日新聞夕刊より

ヒースロー空港に着いた。その日、サンフランシスコからこの空港に着いたパン・アメリカン航空の一〇三便B七四七型機は、このフランクフルトからの手荷物を積んで、夕刻ニューヨークに向け飛び発った。

この飛行機が、スコットランド南部の町ロッカビー上空に差し掛かったとき爆発が起こった。この爆発のため、はじめのうちは機体前胴部は窓列部分だけで辛うじて機体後部とつながっていたが、すぐにちぎれて飛散した。機首、操縦室、前胴はばらばらになり上層風に流されて、東北東に走る長さ




II－7　テロで爆破された機体破片の散乱状況（右図は爆発物の経路）

一三〇キロの線上に落下した。

主翼とその後方の機体とエンジンは、その北側の平行線上に、これも散り散りに落下した（図II―7）。乗客乗員二五八名は全員死亡し、住民にも死者一一人と五人の重軽傷者が出た。

捜査の結果、この爆弾はリビアの情報機関員がラジオカセットテープ・プレーヤーの中に仕込んで、警戒が手薄なマルタで一〇三便の別送手荷物の中に紛れ込ませたものであることが分かった。リビアはイスラム諸国の中で最も戦闘的で、米国の中近東政策を非難し、それ以前にもテロを重ねていた。

南北朝鮮問題に関連して、ペルシャ湾上空で起こった大韓航空機爆破事件は、北朝鮮の美人女性工作員が日本人を装ったこともあって、わが国で話題になった。いままでに最も多くテロの被害を受けたのは米国で、国を代表する大きなエアラインが狙われている。それで、米国はテロ対策に最も熱心である。そこで、まず、機体構造の設計の面から、このような致命的な破壊を防止する方法が追求されている。

爆弾などの爆発の衝撃を、無理に一部に閉じ込めようとすれば、かえってフレームやストリンガーが破壊され、またその衝撃のエネルギーが遠くに伝わって被害を拡大する。そのかわり、貨物室はある程度耐爆性の強い材料で作ってあるのだが、それと同時に、あらかじめ予定された箇所で、外板が破れて開口部を作り、爆発力の一部はそこから外へ逃げるような構造が考え

られる。また、手荷物用のコンテナを現在のアルミ製でなく、複合材で作る案もある。このコンテナは耐爆性が強いうえ、軽くて、寿命も長くできる利点がある。

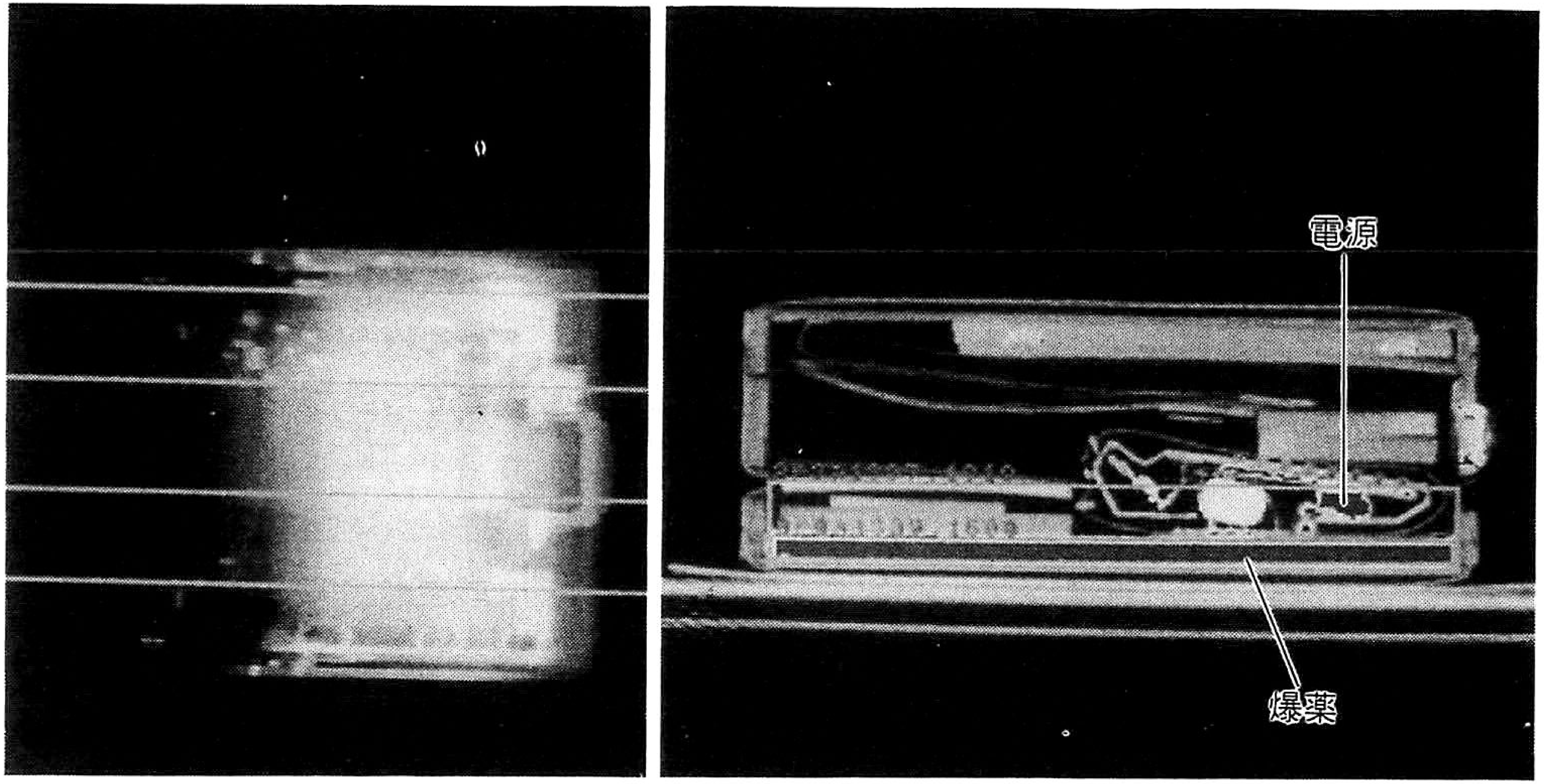
もっと根本的に、テロリストが凶器や爆発物を持ち込むことを、完全に排除することはできないのだろうか。

現状では、銃砲刀剣などは磁力式金属探知器で発見される。これはアーチ型の門が電流のコイルになっており、客が鉄、ニッケルなどの磁性体を身につけてそこを通り抜けると磁場が変化してコイルを流れる電流が変化する。

たまたま、小銭を沢山もっていると引っかかり、痛くない腹を探られることがある。手荷物の中身はX線透視によって検査される。この方法では物の形と密度しかわからない。プラスチック爆弾のような新型の爆発物が出てきた現在、従来の検査装置だけでは対処できなくなってきた。

パン・アメリカン機の爆発事故のあと、FAAが、従来、武器の発見に主眼を置き、エアラインに対し、爆発物の発見は特に要求してこなかったと批判された。多数のエアラインは有機物と非有機物を識別できる二重エネルギーX線検査器（E－SCAN）（図II－8）を自発的に使用している。

FAAも独自に、先進的な検査法の開発に努めているが、以前、熱中性子評価装置TNA




II－8　X線スキャナーによるCT画像
CTスキャナーがかばんを薄切りにし，内張りの下に隠した爆薬と計算機の中に隠した電源を探し出した。

(Thermal Neutron Assessment Equipment) を推奨して結果が思わしくなかったという苦い経験がある。この装置は、時間がかかるうえに高価だった。感度を上げると頻繁に誤警報が出た。FAAはそれに懲りて、今度は慎重に事を運んでいる。

蒸気検出器 (vapour detector) はダイナマイトのように香気を発散する爆薬の検出に適している。FAAは前述の強化X線装置と蒸気検出器を使って現場で評価してみるよう督励している。そのほか、粒子検出器 (particle detector) というものがある。これは袋やその内容物にこびりついた残留化学物質を検出するもので、プラスチック爆弾のような見つけにくい爆発物を探知するのに使う。

また最近では、ワード・プロセッサーやラジカセから洩れた電磁波ノイズが、飛行制御コンピュータの作動を混乱させ、機体を墜落寸前の状態に陥れたことが報じられている。何が凶器になるか分かったものではない。探知法が進歩するいっぽうで、危険物も変わってきている。そのため、一つの装置で何でも発見できるものはないから、いくつかの装置の組合せを用いなければならない。

しかし、たとえば四種の装置を揃えるとすれば、一検査点あたり五千万円程度の金額になる。これを利用者に負担させるとすれば、航空運賃は相当の値上げになる。国家間の紛争のつけを運賃の形で利用者に負担させるのは不合理なことだ。先に、各国の空港施設や航空交通管

制施設に対する各国の姿勢が、さらには社会体制までが、航空安全に関わっていることを述べた。

テロリズムの問題を考えると、国際的な交通体系の性格が強い航空輸送は、世界諸民族の融和と安全保障とを前提としなければ成り立たないことを痛感させられる。

## 火災

船火事は海では命取りであるが、飛行機でも同じである。エンジン故障以外に、本来、火の気のないところから、火災が発生して飛行機が墜落することがある。一九七三年一一月三日、ニューヨークのジョン・エフ・ケネディ空港を飛び立ちドイツのフランクフルトに向かったパン・アメリカン航空のB七〇七型機は貨物便で、二四トンの貨物を積んでいたが、そのうち七トンは化学薬品で、その大部分は硝酸であった。

IATA（国際航空運送協会）の規則では、硝酸は二・五リットル以下の陶器かガラスの容器に入れ、さらにそれを金属缶で密封したうえで、不燃性無機質のクッション材で包み、規格にあった木箱で梱包することになっている。

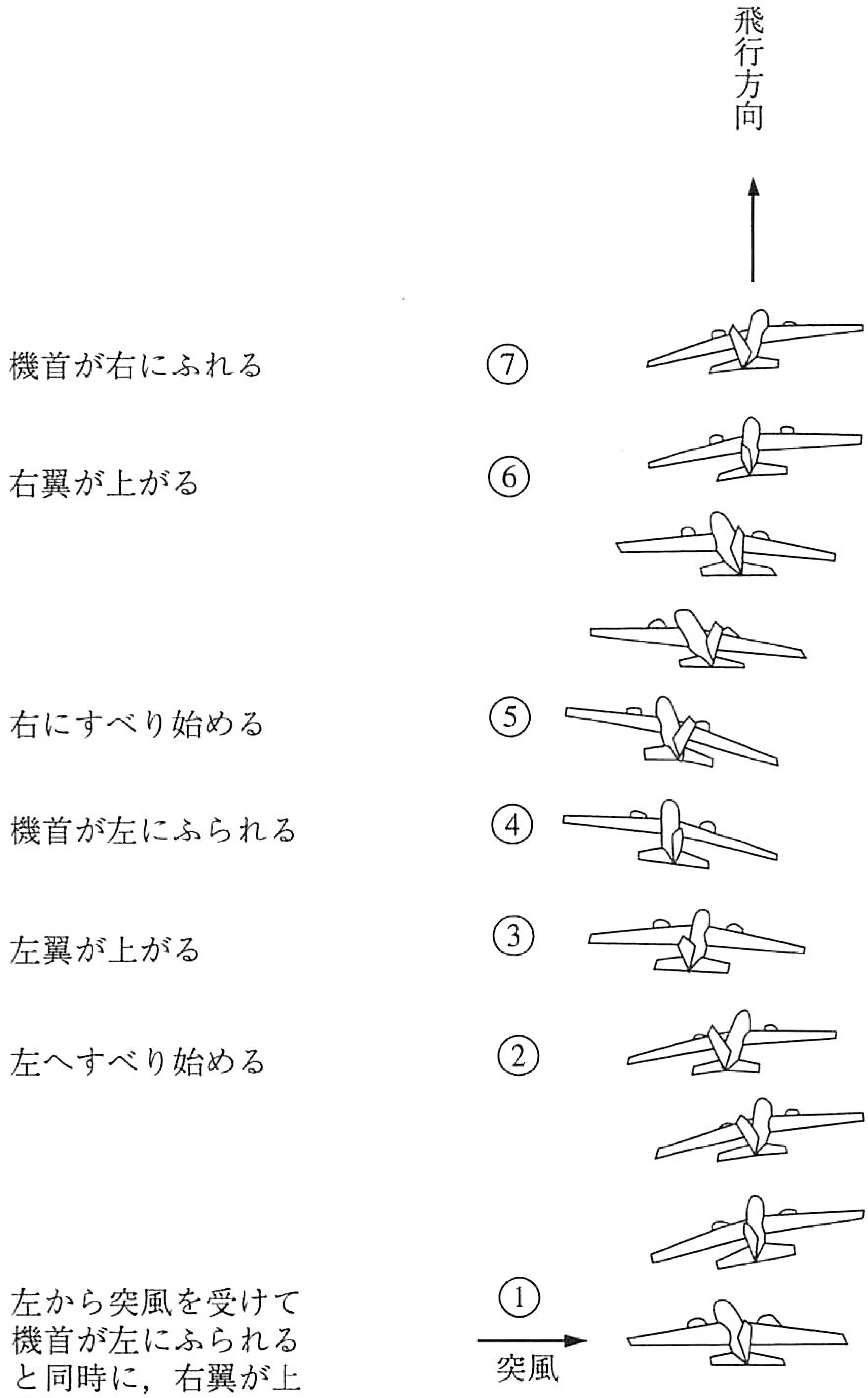
ところが、この機に積まれた硝酸の瓶は、金属缶に入れられておらず、クッション材は燃えやすいおが屑で、外側の木箱も規格に合っていなかった。また、「腐食性」と書いたラベルが

貼られていなかった。悪いことに、機長はこの危険品の種類や搭載量について文書による通知を受けていなかった。

この硝酸が、瓶が割れるかどうかして洩れ出して、おが屑と反応して燃え出したらしい。機がカナダのモントリオール東方を飛んでいたとき、コックピットに煙が入ってきた。硝酸を積んでいることを知らない機長たちは、コックピットのすぐ下の電気室から煙がきたものと誤認し、緊急着陸の必要はないと判断し、モントリオールではなく、整備上都合がいいボストンに引き返そうとした。

あとから考えると、この判断は適当ではなく、この時点で乗員は正確な状況認識を欠いていたといえる。途中、火は燃え広がり、地上からの呼び掛けにたいする応答がなくなった。ボストンでは空港を閉鎖してこの機の着陸を待ったが、パン・アメリカン機は滑走路進入端の右端から八〇メートルの地点に墜落した。乗員三人は全員死亡した。

コックピットに煙が充満すると、どういうことになるのだろうか。地上の目撃者の証言では、墜落する前に操縦室の左窓が開いて、そこから煙が噴き出していたという。乗員は酸素マスクとスモーク・ゴーグルを着用するが、ゴーグルが汗で曇り、また煙のため計器が見えなくなる。そこで、やむなく、窓を開けて地上を見ながら着陸を敢行することになる。機はロールとヨーの混じった運動をしながら滑走路に近づき、この運動が激しさを増すとともに機首が高


飛行方向
機首が右にふれる
⑦
右翼が上がる
⑥
右にすべり始める
⑤
機首が左にふられる
④
左翼が上がる
③
左へすべり始める
②
左から突風を受けて
機首が左にふられる
と同時に，右翼が上
がる
①
突風

II－9　ダッチロール

く上がったが、突然、機首が下がり左に傾いて、ほとんど垂直に地面に衝突したという。
国家交通安全委員会（NTSB）は、墜落の直接原因は、煙の充満したコックピット内で乗員間のコーディネーションが混乱し、フラップとスポイラを展開していたにも拘らず、自動操縦装置のヨーダンパを切ったためとしている。
B七〇七型機のような後退翼機は、ダッチロールを起こしやすい。ダッチロールとはローリングとヨーイングと横滑りの三つの運動が混じり合って、機体が左右に交互に傾きながら蛇行する複雑な運動である（図II－9）。
この振動は、主翼の上反角効果によって起こるが、揚力を増すためフラップを下げた形態では特に強く現れる。この振動が強くなるのを抑えるために、ジェット機はラダーを自動的に操作してヨーイングを抑えるためのヨーダンパを装備している。これを切ってしまったのだから、強いダッチロールが起きたのである。
地上の火事でも、煙が充満した現場での協同作業はむずかしい。ましてや、機上で火災が起きると極度の緊張状態になるから、そのときでも適切に行動できるための、日頃の特別の訓練が必要である。
この事故の隠れた原因としては、米国には、当時、危険物輸送を規制する態勢が複雑で、その運用も不完全であったことが挙げられる。危険物取扱い業者に向けた運輸省規則の説明資料

がなく、そのため便宜上、IATA危険品規則が手引きとして使用された。しかし、この規則は、米国法規では強制力がなかった。パン・アメリカン航空でもIATAと連邦の規則を記載したマニュアルを作り使用していたが、これはこの会社の危険物取扱いのガイドに過ぎず、これを守らせるための施策は講じられていなかった。

最近、日本人を巻き込んだ航空火災は、一九八七年にインド洋のモーリシャス島付近に墜落し、乗客乗員一五九人全員が海の藻屑となった、南アフリカ航空のB七四七―二〇〇型コンビ機の墜落事故である。コンビ機というのは、客室と貨物室が同じレベルで床の上に並んでいる型の輸送機で、当時世界で二四〇機ほど飛んでいた。この機には遠洋漁業に従事する日本人の漁船員四七名が乗っていた。機体の残骸は水深四〇〇〇～五〇〇〇メートルの海底に散乱していた。

遠隔操作のロボットやカメラを使って捜索が行われたが、機体の一五パーセント程度しか回収できなかった。

一年余り後、四五〇〇メートルの海底から、操縦室内の乗員たちの会話を記録したボイスレコーダが引き揚げられた。このレコーダの中には煤（すす）がこびりつき、電線は焼けただれていた。引き揚げられた遺体からは一酸化炭素が検出された。火災が発生したのは明らかだった。しかし、なにが燃えたのかは分からなかった。

一九八九年の事故関係者の聴聞会で、南アフリカ航空は空中爆発説を主張して譲らなかった。もし火災が原因とするなら、輸送業者は危険物を積み込んだ責任を問われることになる。結局、火災か空中爆発かは確定できなかった。この事故では、客室と貨物室が同じ床の上に並んで、間仕切りだけで隔離されている構造のコンビ機の危険性が指摘された。

旅客機の火災では、積荷ではなく後方トイレが火元になる場合もある。地上ではホテルやデパートなどには、火災が発生すれば、水が噴射される装置が備えられている。航空機にもそれを取りつけたらどうか。米国と英国の航空局はこのキャビン・ウオーター・ミスト装置の装備を法律で義務づけることを意図している。

ボーイング社はこれに対し不支持を表明し、その反論を論文にまとめ米国航空輸送連合に提出した。その論拠とするところは、英国民間航空局が行った一九八〇年代の生存可能な事故の解析結果である。それによれば「今日生産されている航空機にこの防火装置を使用しても、八四人の生命しか救えなかったであろう」。ボーイング社の担当者は「そのような装置を追加装備することは事実上、経済的に不可能である」といっている。

マクダネル・ダグラスやエアバス・インダストリーなどの航空機メーカーも、それに同調している。例によって安全と対費用効果が議論の的になっているのである。しかし、英国民間航空局は最近、その装置の詳細設計を業者に委託し、依然、その考えの変わらないことを示して

いる。

# III　失われた動力
## —エンジン—



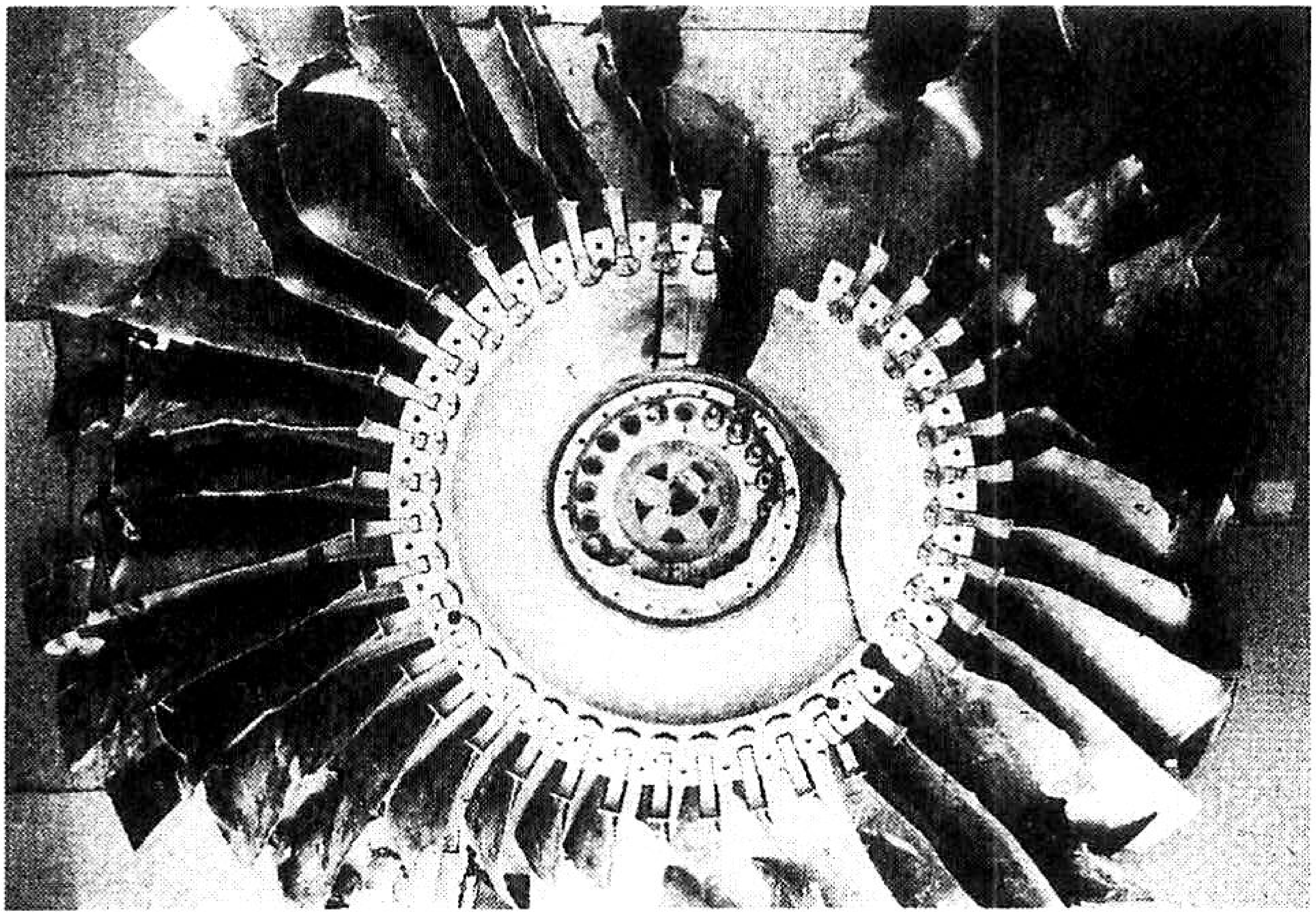
### エンジン破壊

エンジンは飛行機を引っ張っている。B七四七型機が離陸するときのエンジン推力は、最大で一基当り二四トンであるから、四基では一〇〇トン近くなる。そのエンジンが壊れたり、脱落したらどういうことになるだろうか。民間輸送機はエンジンが一つ止まっても、残りのエンジンの推力で離陸を継続できるよう性能が保証されているから、推力不足だけなら、すぐ事故になるということはない。

ファン、コンプレッサー、タービンの高速回転している何百枚という羽根も、ときには破断し、遠心力の作用で外に飛び出そうとすることもあるが、エンジンの外側は丈夫なカバーあるいはケーシングで覆われていて、羽根一枚が飛んでも突き抜けないような強度をもたせてある。

羽根よりも、もっと重量のある部分が破断して飛び出すと、それはカバーを突き抜けて、翼や胴体や、さらに運が悪いときには、他のエンジンを破壊することもありうる。滅多に起こりそうにもないこの種の事故が、現実に何度か起きている。最近でも、一九八五年に英国のマンチェスター空港でブリティッシュ・エアツアーズ航空会社のB七三七型機が離陸中、左エンジンの燃焼室の外側ケースが破壊した。

このケースは高温高圧の燃焼ガスの圧力に耐えられるよう、ステンレス鋼で出来ている。そ



III－1　破壊したＤＣ10のファンディスク（落下した残骸から再組立て）

の破片がエンジン外に飛び出して左翼の燃料タンクに当たったため燃料が漏れ、火災を起こした。脱出が遅れた五五人が焼け死んだ。

一九八九年七月には、ユナイテッド航空の二三二便ＤＣ一〇型機が巡航中、右翼についているエンジンのファンディスク（周囲に四〇枚のブレードを挿し込んだ金属円盤）が二つに割れてケーシングを破って外に飛び出した（図III－1）。第二エンジンによって駆動されていた第二油圧系統の油圧は喪失した。それだけならまだしも、飛び散った金属片が水平尾翼を破壊し、そこにあった第一と第三系統の油圧配管を切断した。このＤＣ一〇は、全油圧系統を絶たれ操縦不能となった。

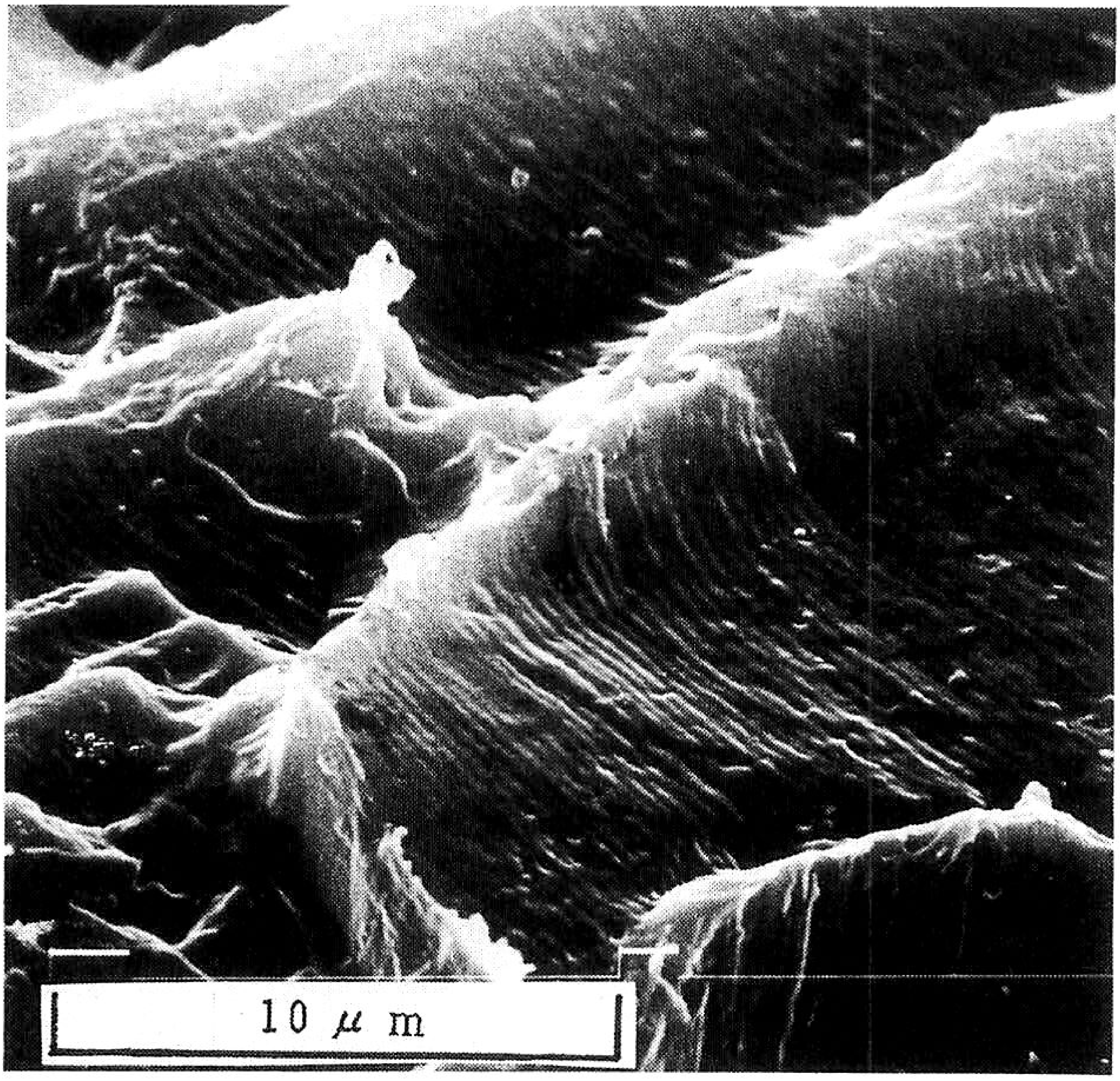
事故機の機長は、残る二つのエンジン（左翼と尾翼についている）の推力を別々に手動で調

節して、絶えず右に旋回しようとする傾向と、約六〇秒に一回機首を上げ下げするフゴイド運動を抑えて、最寄りのアイオワ州スー・ゲートウェイ空港に緊急着陸を試みたが、結局墜落し、乗っていた二九六名中一一一名が死亡した。この緊急着陸において生存者があったのが奇跡で、パイロットが発揮した技量は賞賛に値するといわれている。

しかし、この美談を詳しく述べることは本書の主旨ではない。事故のあと、この墜落に至った経過をシミュレータで再現したところ、操縦油圧系統なしで機体をコントロールして安全に着陸させる方法をパイロットに教えることは不可能であることがわかった。着陸しようとする機の操縦に影響する要素が多く、一つ一つはコントロールできても、全部を同時にコントロールすることはできなかった。したがって、この二三二便が経験したような着陸を訓練しても、この問題をうまく処理する助けにはならないだろうということだった。

したがって、乗客乗員がこのような危機的状況に陥らないよう事前に万全の処置を取ることが、航空安全の本筋である。

ここではファンディスクの破断に至った経過のなかに、どのような問題があるかを見てみよう。破壊した第二エンジンのファンディスクはGE製で、チタニウム合金のインゴット（鋳造したブロック）を鍛造した素材を加工したものである。インゴットを鋳造するとき、チタニウム合金材中に金属学的欠陥が発生していたが、GEがディスクを製造するとき実施した超音波探




III－2　疲労マーク

傷検査ではこれが見つからなかった。ディスクを最終機械加工したときこの欠陥から空洞ができた。ディスクには多数のブレードが植え込まれており、それが気流中で高速回転するときブレードに加わる遠心力や空気力は、すべてこのディスクに伝えられる。

つまり、ディスクには大きな応力が繰り返しかかる。金属には特有な疲労という現象がある。繰り返し荷重がかかると、切り欠き部（例えばリベット孔や溝）のまわりや、空洞のような素材の欠陥部から、はじめ小さな亀裂が発生し、次第に成長して大きくなる。

この成長過程は破断した金属の疲労域に残される貝殻の縞のような「疲労マーク」として現れる（図III―2）。

亀裂がある大きさに成長すると、その部材の強度が不足して破壊に至る。落下し回収されたディスクを調べてみると、中心部の中ぐり穴の内面にはじめから小さな空洞が存在しており、そこから疲労亀裂が成長していた。ディスクの破断面の疲労マークの数は、機体の離陸サイクル一万五五〇三回とほぼ一致していた。離陸するときは、エンジンは定格推力の中で最大の離陸推力を出さねばならないから、そのときディスクにかかる荷重も当然大きい。だから、離陸する度に亀裂が間欠的に成長するから、この数の一致は偶然ではない。

ところが、この亀裂面に長さ約〇・五インチの蛍光染料による変色が見つかったため、問題は会社の検査体制の可否が問われる事態に発展した。なぜなら、この色は、ユナイテッド航空が最後に実施した詳細点検で蛍光浸透探傷の際に使用した燐酸ディフェニールと燐酸トリフェニールが付いたものと見られるからである。さらに、GEが行った破壊力学の理論計算から求めたこの検査の時点で予測される亀裂の長さが、この変色部の長さと一致したことは、この亀裂がこの検査の時点ですでに存在していたことを裏づけた。

もし蛍光浸透試験が適切に行われていたら、この亀裂はかなり高い確率で見つけることができたはずである。

検査員がなぜこの亀裂を発見できなかったか。検査工程をみるとディスクはケーブルで釣り下げて点検する。このケーブルで隠れた中ぐり穴の内面は粉末現像剤の塗布などの処理が十分でなかったのではなかろうか。

また、ディスクで亀裂が頻繁に発生するのは、むしろブレードが植え込まれている外周部であるから、そこは注意して点検するが、この中ぐり穴の内面部分には亀裂が発生することはまれなので重視されていなかった、という事情も考えられる。

前節のアロハ航空の構造破壊には、整備点検のミスが絡んでいたから、機体の整備点検体制の問題点を浮き彫りにした。それだけではなく、この事故は機体構造の安全設計の考え方の見直しを求める契機にもなった。

ユナイテッド航空機のエンジン事故で、再びこの問題がクローズアップされた。「過ちは人の常」と古人もいっている。膨大な数の機体構造部材とエンジンの部品を手作業と目視によって検査する現行の方式では、人間的なミスによって、構造の欠陥を見落とす可能性はなくならない。この観点から、ユナイテッド航空の事故の後、ＮＴＳＢは非破壊検査の自動化、あるいは検査工程の信頼性向上を図ることを重点とした勧告をＦＡＡに対して出した。

これらの技術を自動化し、検査工程を簡素化する最新の技術の開発と、運航会社でその技術の実施とを督励すべきである、というのである。この勧告の裏には渦電流検査、超音波探傷、

蛍光浸透検査など一連の非破壊検査技術は自動化が可能なまでに進歩しているという認識がある。

ＮＴＳＢは、また、非破壊検査員が単独で作業を実施し、監督されることがほとんどないという状況を改善し、エンジン回転部分のような重要部品の検査で見落としを防ぐためのリダンダントな検査監視制度（いわゆる「もう一組の目」）を開発し実施するよう督励すべきである、ともいっている。先進的な航空会社は、すでに、パイロットに対して行っているＣＲＭに類似の訓練を整備部門に導入することをはじめている。このＣＲＭについては、一三九ページで説明する。航空のような高度の信頼性を必要とする技術にあっては、地上部門においても、人こそが安全を守る最後の砦なのである。

## もぎ取られたエンジン

エンジンが最大の推力を出すのは高速で巡航するときではなく、離陸から上昇にかけてである。そのときエンジンは一基当り一〇トン、あるいは二〇トンという大きな推力で機体を引っ張る。エアラインの輸送機はエンジンが一基作動しなくなっても安全に飛行を継続できるように十分な推力の余裕をもっている。しかし、条件によっては、あわや墜落という事態にもなる。次に述べる例がそうである。

コンチネンタル航空のB七四七型機が大西洋を横断し、マイアミに飛ぶため、ロンドンのガトウイック空港を離陸しようとしていた。層雲が空を覆っていた。大きな積雲がいくつかあったが、隠れていて見えなかった。I章で説明したウィンドシア警報が出ていて、滑走路上を、時折最大速度三〇ノット（秒速約一五メートル）の突風を伴う横風が吹いていた。

この横風は、離陸が許される限界であった。その日は客が多かった。搭載が許される最大離陸重量は、そのときはエンジンが一基止まったとしても、離陸直後の必要上昇性能が得られるという条件で制限され、二九六トンであった。これに対し、実際の離陸重量は二九五トンで、辛うじてこの制限をクリアしていた。もし、本当にエンジンが停止したら面倒なことになる、ぎりぎりの値であった。

ところがそのことが本当に起こってしまった。離陸滑走して加速し、離陸決心速度$V_1$（この速度以前にエンジンが故障したらブレーキをかけて停止する速度）の直前で速度計の針がふらついた。この時点ですでにエンジンが不調になっていたものと思われるが、機長はそれを突風によるものと考え、離陸を継続した。ローテーション速度一五六ノット（秒速八〇メートル）になって機首を引き起こし、脚が滑走路を離れたとき、大きな音がした。副操縦士は第四エンジンの推力低下に気づいて機長にそれを告げた。

機長は残りのエンジンのスロットルを全開し、そのまま離陸を継続した。故障したエンジン

の温度が危険状態になったので燃料投棄を開始するとともに、そのエンジンを停止した。機は異常なほどの頭上げ姿勢で、約二〇度も右に傾いたので、管制塔では墜落すると思って墜落警報を作動させた。しかし、機はほぼ水平に飛行した。小高い丘が目前に近づいてきたが、農家の屋根すれすれに飛んで行った。失速を警報するスティックシェーカが三〇秒間、間欠的に作動した。幸いフラップを引き上げても失速しない速度まで加速することができ、そのあと、機は一エンジン不作動時の所定の上昇性能を回復することができた。約八〇トンの燃料を投棄した後、機はもとの空港に着陸した。

では、エンジンが二基止まったらどうなるのだろうか。十分な高度があればしだいに高度を下げながら目的空港まで巡航を続けるか、あるいは最寄りの空港に緊急着陸することができるよう飛行計画で客と貨物の搭載重量が制限されている。

したがって、それ以外のことが起こらなければ大事にはならない。ところが最近、離陸中エンジンが二つ脱落したため墜落した事故が、続いて二回起こった。最初は、一九九一年も押し詰まった一二月二九日に起こった。その日、中華航空のB七四七型貨物機は台湾のチャンカイシェク空港を離陸してアンカレッジに向かっていた。離陸上昇中、第三エンジンが翼から離れて飛んだ。それだけなら大事に至らなかったかもしれない。ただ、運悪くこのエンジンが第四エンジンを翼に固定しているパイロンと呼ばれる支柱に当たって、第四エンジンもろとも翼か

らもぎ取ってしまった。
なくなったエンジンはどちらも右翼についていたから、機は右旋回をはじめた。一分四五秒後、パイロットは管制塔に、左旋回しようとしても出来ない、と伝えてきたが、その後、通信は途絶え、機体は海中に墜落した。二つのエンジンは陸地から一・五キロ離れた深さ二〇〜二五メートルの海中から引き揚げられた。皮肉なことに、設置されたばかりの高性能管制レーダーが墜落地点の水しぶきを正確に捉えていたことが、捜査に役だった。それでも第四エンジンがパイロンつきで無傷で見つかるまでには二週間かかり、第三エンジンが引き揚げられるのには、さらに六週間かかった。台湾当局は次の年の一〇月に再び潜水作業を再開し、徹底捜査の意志を示した。しかし、これは貨物機の事故だったため、それほど世間の関心を引かなかったというのが実情だろう。
ところが、中華航空機の事故から一年も経たない一九九二年の一〇月四日、今度はオランダで、これとまったく同じ事故が起こった。今度は過密なヨーロッパの都会で、しかも住民を多数巻添えにした最悪の事態に発展した。事故を起こしたのは、やはりB七四七型貨物機で、イスラエルのエルアル航空のものである。脱落したエンジンは、やはり第三エンジンである。機はスキポール空港を離陸後上昇し、アムステルダム上空に達したとき、南東に旋回しはじめた。高度一二〇〇メートル、時速四〇三キロメートルであった。


貨物機墜落　高層アパート直撃
住民多数巻き添え
アムステルダム郊外
室内に150人以上？
12人の死亡確認　エンジンから出火
再び一時118円台　東京外為

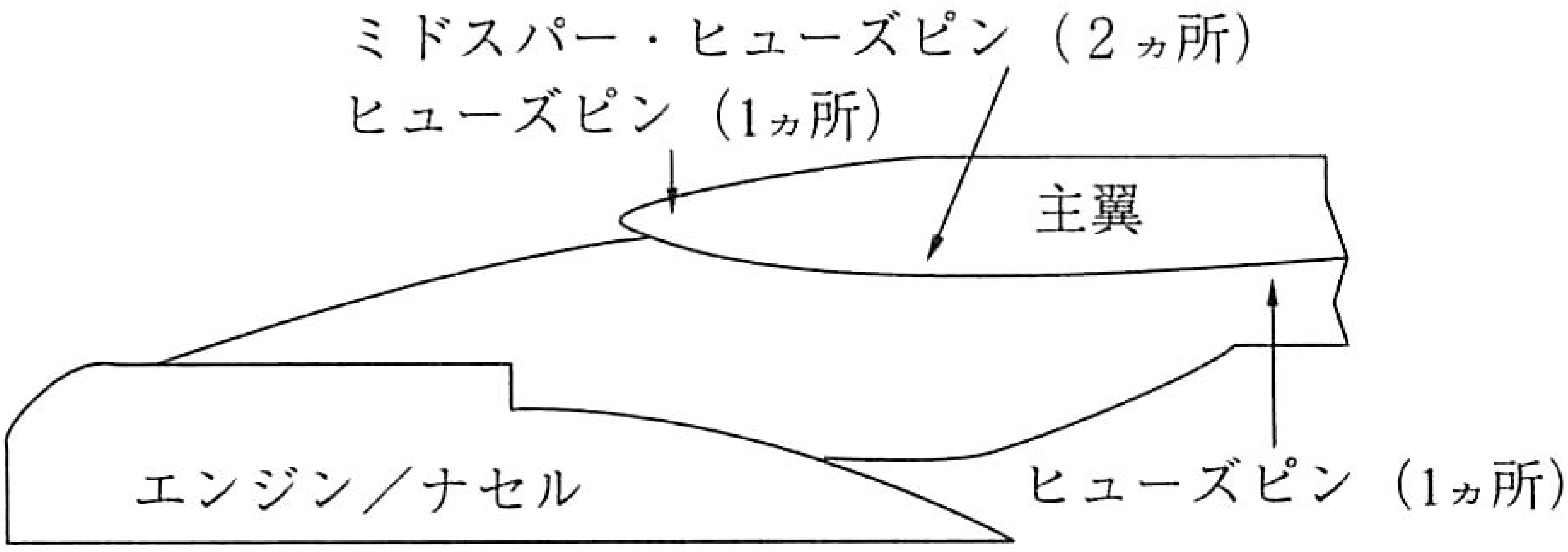
1992年10月５日　朝日新聞夕刊より

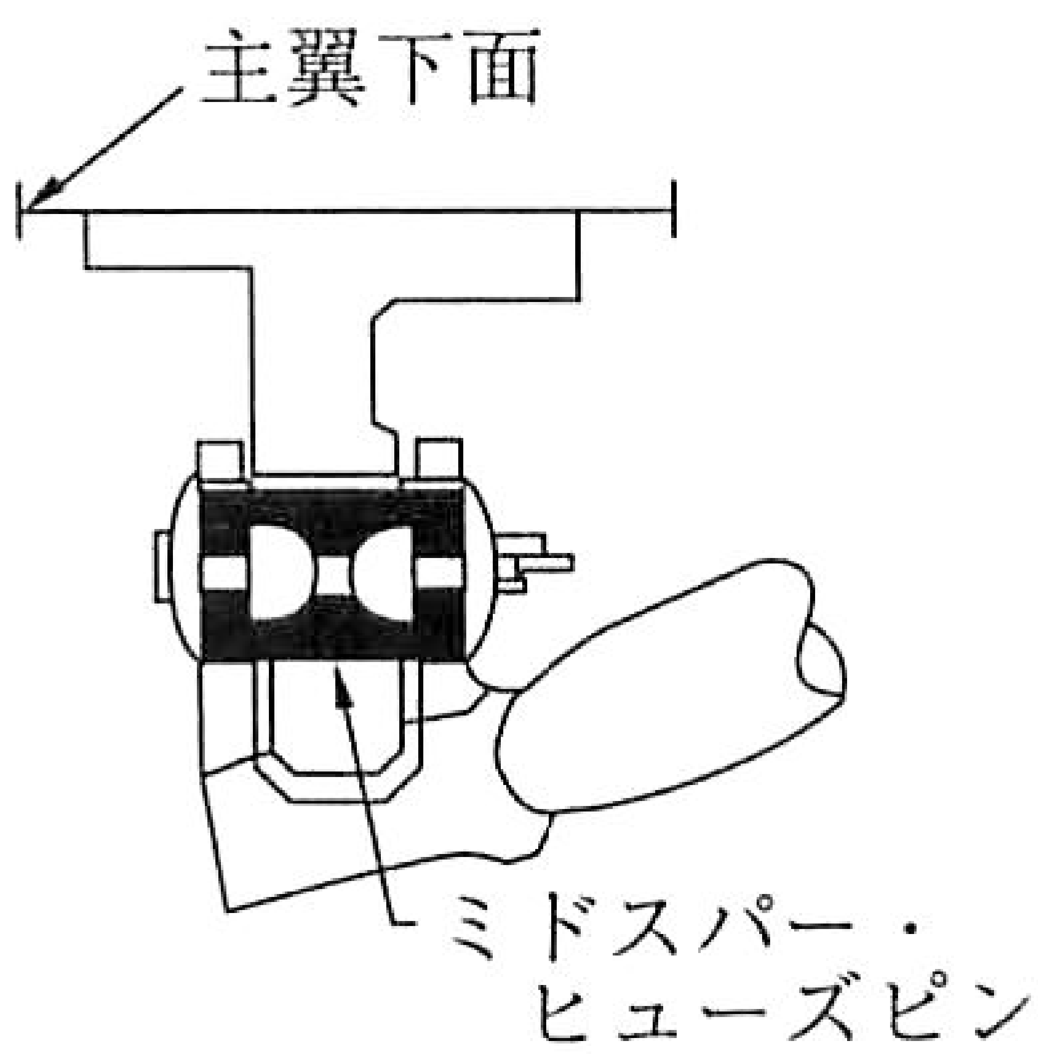
そのとき第三エンジンが翼から脱落した。このエンジンの推力はまだ残っていたため、三～四秒後に第四エンジンに当たって、それをもぎ取ってしまった。あとで、ゴーイメア湖の水中から回収された第四エンジンの下部には、第三エンジンがぶち当たったあとが歴然としていた。第四エンジンに鳥が衝突した形跡はなかった。

機長は第三エンジンの火災警報灯がついたから、引き返し緊急着陸すると管制塔に要請した。エンジン火災とその脱落の関係はいまだにわからない。その後、機長は第四エンジンがなくなったと通報してきた。アムステルダム上空で右回りの円を飛んでいるとき、六時三四分八秒に機長は「フラップがおかしい」と連絡した。一分後、パイロットは「落ちる、落ちる」と叫んだ。六時三五分五三秒墜落し、住宅街の二棟の高層アパートの間

に落ちた。二〇〇ないし二五〇人の住民が巻添えになって死んだ。
　この二つの事故は、エンジンを翼に止めている金具のピンが疲労破壊を起こしたために起きたとみられている。エンジンは大きな力で機体を引っ張っているのだから、それを機体に止めている金具は頑丈なものと思いきや、小さいピンなのである。実をいうと、ここは意図的に設けられた構造上の弱点なのである。なぜわざわざ弱くするかというと、エンジンを強固に機体に固定すると、それに異常な力がかかったとき機体に無理な力が伝わって機体全体が破壊してしまうので、そのエンジンを切り離すためである。
　プラット・アンド・ホイットニー社とロールスロイス社が製造したエンジンではパイロンを四個のピンで翼に固定している（図III―3）。これは直径が六センチ足らずで、長さが一〇センチ程の鋼のボルトで、カドミウムで鍍金されている。このピンのうちミドスパー（翼の中央部を翼根から翼端まで通っている桁）に取りつけられている二つは、他の二つのピンより大きな荷重がかかり疲労も早いから、最も注意を要する。
　しかも、このピンはエンジンが暴走したときに翼からきれいに離れるように意図的に弱くしてある。電気のヒューズと似ているので、これはヒューズピンと呼ばれる。こんな難しい部品は他にあるまい。強度に余裕は持たせられない。しかも、疲労が激しいから強度はどんどん落ちていく。

当然、このミドスパー・ピンの疲労は早くから問題になった。一九七九年の八月にこのピンの疲労破壊による事故を防止するため繰り返し点検を求めるAD（耐空性改善命令）が出された。ボーイング社はその後このピンを再設計して、全部交換した。ところが、この新設計のピンにも疲労亀裂が発生しているのが発見された。亀裂発生の原因はピン製造過程で腐食防止剤の塗布を省略したためである。一九九二年五月に連邦航空局はこのピンの一斉点検を指示した。一方、ボーイング社も、中華航空機の事故が動機になったのか




III−3　ヒューズピン

どうかはわからないが、このヒューズピンの疲労亀裂検査法の改善に取り掛かっていた。ボーイング社は、このピンの検査を、エンジンを機体に搭載したまま行い着脱に要する時間を短縮するとともに、その作業に伴って新しいエラーが発生するのを避ける方法を考えていたため、検討に時間がかかったのだ。

一九九一年秋に超音波探傷検査法を概説したSB（技術指示書）を出し、これをエアライン二社で試行し、その結果により手直しをおこなった。ボーイング社は、はじめ一〇月八日にSBを出すことを予定していたが、エルアル航空の事故が起こると、急いで一〇月五日に繰上げてこれを出した。このSBには「亀裂はヒューズピンの内径上の腐食穴からはじまり、疲労のため進展する」と書かれていた。

ヒューズピンを取りつけるのは、故障した部分を切り放すことによって安全を図る、いわば捨身の戦法であり、とかげの尻尾切りである。小さな犠牲によって大きな犠牲を免れようとする考え方である。外板に亀裂止めの補強板をつけるのを積極的なフェール・セーフとするなら、これは消極的なフェール・セーフである。しかし、これまでの実績から見ると、この小さな犠牲は意図に反して大きな犠牲を誘発した。言葉は矛盾するが「危険なフェール・セーフ」である。

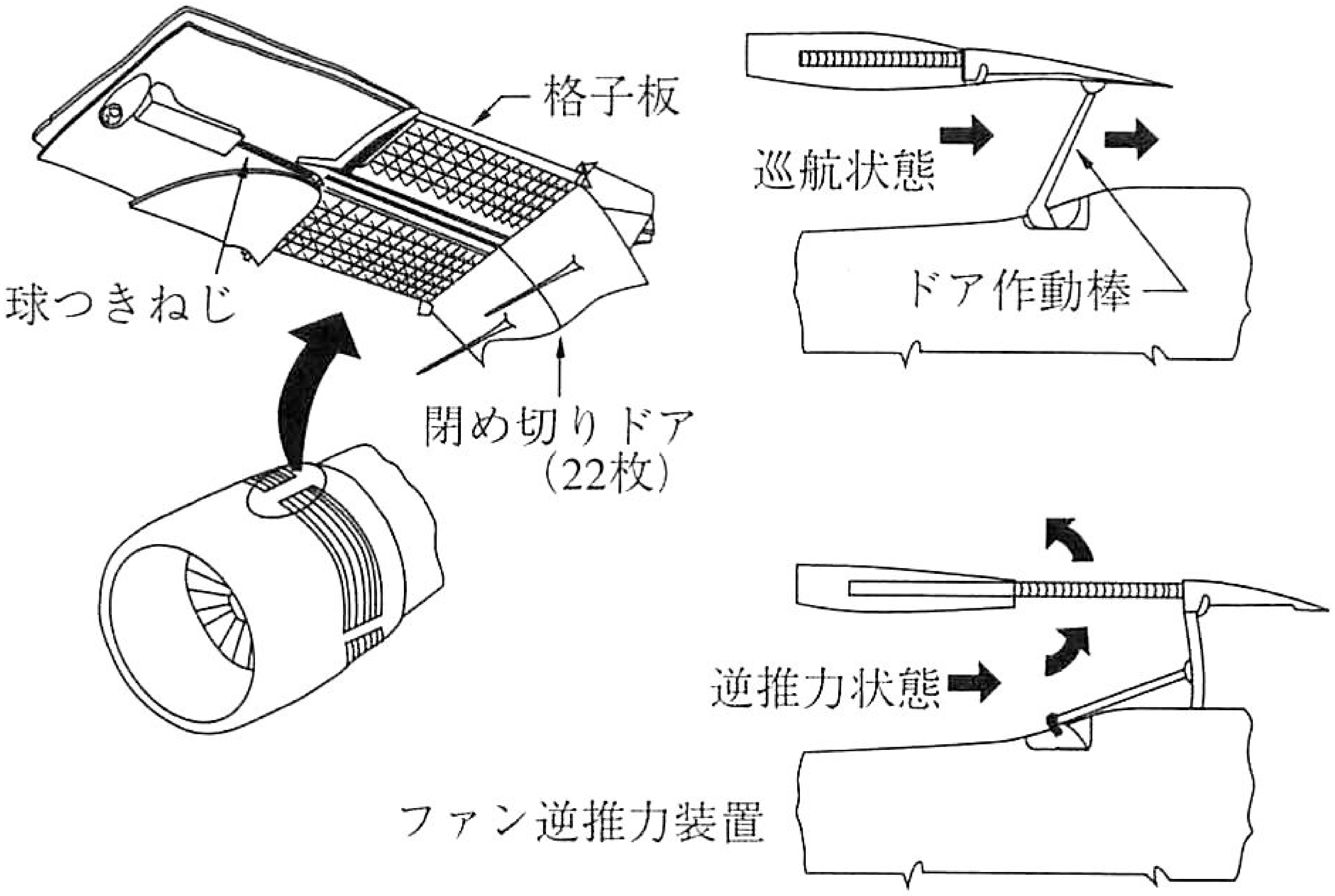
では、このピンを使わずにエンジンをがっちり翼に固定するとどうなるのだろうか。問題は

乱気流に煽られて機体が異常な運動をしたときなどであろう。果たしてどちらが事故の確率が高いのであろうか。

## 逆噴射したエンジン

ジェット機は着陸した後、短い距離で止まるために、スラスト・リバーサという装置を使ってエンジンの推力を逆向きにして減速する。旧型のジェット機ではコックピットから機械式のケーブルによってこれを働かせたが、新型のジェット機ではエンジンがFADECという独自の電子式制御装置をもっていて、これに電気信号を送ってやれば、スラスト・リバーサが作動する（図III―4）。空中でこのスラスト・リバーサが誤って作動したらどうなるだろうか。結果はいうまでもあるまい。ただし、FADECには安全装置がついていて、飛行中スラスト・リバーサが開くとそのエンジンをアイドル（ただ回っているだけ）状態にして、推力を落としてしまう。残ったエンジンで緊急着陸する。この安全装置のおかげで、過去にもB七四七や七六七に数回スラスト・リバーサの誤作動が起きたが、事故にはならなかった。

このFADECは操縦席からの指令信号を受けて推力の制御を自動的に行い、また各種の保安装置を管理するが、そのほか、速度、温度、圧力などのエンジンの作動状態を表す数値を監視し、正常かどうかを診断し、必要ならパイロットに助言メッセージを送るという機能をも




III-4　スラスト・リバーサ

つ。そのうえ、この装置は、そのメッセージをコンピュータに記憶させるが、これは飛行のあとで整備士がトラブル解決と整備をするときに問題点を具体的に指示し、また、緊急処置が必要かどうかも教えてくれるといった、大変知的な電子装置である。

ところが、一九九一年五月、オーストリアのラウダ航空のB七六七—三〇〇型機はこのスラスト・リバーサの誤作動が原因で墜落した。この事故機は香港発でバンコクを経由しウイーンに向かった。コックピット・ボイスレコーダの録音から分かったことは、バンコク空港を離陸し上昇して三〇分後、ほぼ二万フィートの初期巡航高度に達したとき、スラスト・リバーサが開いたことを知らせる警報が出た。

米国人の機長は、その警報の意味が分からず



# ラウダ航空機 墜落

## タイの山間部 223人乗り、全員絶望か

【バンコク27日平野幸夫】バンコク国際空港当局者が二十七日未明、明らかにしたところによると、二十六日深夜、香港発バンコク経由ウィーン行きのオーストリア・ラウダ航空NG004便ボーイング767型機（乗員十人、乗客二百十三人）が、バンコク国際空港を離陸して間もなく、タイ・ミャンマー国境に近いスパンブリー県の山間部に墜落した。現場で炎上中の同機からこれまでに百四十人以上の遺体が収容されたが、全員絶望視されている。乗客名簿には日本人とみられる名前はない。

ラウダ航空機は同日午後十時四十五分（日本時間二十七日午前零時四十五分）、バンコクのドン・ムアン国際空港を離陸、ウィーンに向かった。

現場に近い警察署の幹部はラウダ航空機が上空で爆発を起こし、炎上しながら墜落する瞬間を目撃したと語っている。

航空当局によると、乗客二百十三人のうち、三十八人はタイ人。

航空、警察当局のこれまでの調べによると、同機は、バンコク空港をほぼ定時に離陸したが、予定の航路を大きく外れていたことがわかった。

事故当時、現場の気象は曇りだったが雨季の一部では雨期特有の雷を伴った豪雨が降っていた。

### 元F1王者のラウダ氏設立

【ウィーン27日高畑昭男】タイ上空で墜落したラウダ航空は、かつてのF1レースの世界チャンピオン、ニキ・ラウダ氏[illegible]が一九七九年にウィーンで設立した。チャーター便専門会社として発足後、八八年からは定期便を開設。現在は長距離機二機、中距離機四機を擁してシドニー、香港、シンガポールなどに定期便を飛ばしており、昨年にはウィーン株式市場に上場されるなど、順調に発展してきた。

事故機同型のラウダ航空ボーイング767型機＝AP

### 「米機と間違え爆弾仕掛けた」 匿名電話あったとラウダ氏

【ウィーン27日DPA時事】ラウダ航空を所有するニキ・ラウダ氏は二十六日夜、オーストリアのテレビ放送で、ラウダ航空機は爆弾で爆破されたとの匿名電話がウィーンの空港関係者にあったことを明らかにした。爆弾を入れたスーツケースは同じバンコク発の米ユナイテッド航空機に持ち込まれるはずだったが、間違ってラウダ航空機に積まれたと述べたという。

1991年５月27日　毎日新聞夕刊より

「なんて書いてある？」といってマニュアルを調べはじめた。副操縦士がその箇所を読みあげた。「そのほかの故障が起こると……飛行中のリバーサ展開の原因になりうる」。しかし、その後墜落までの六分間、乗員たちはなんの処置もとらなかった。彼らは自分たちの飛行機が緊急事態に陥っているとは考えていなかったことが、ボイスレコーダの記録からうかがえる。副操縦士は計算するためかドイツ語で数えはじめたが（彼はオーストリア人だった）、「あー、リバーサが開いた」と叫んだ。

スラスト・リバーサが作動しても安全装置が働けば、必ずしも大事にはならない。そのエンジンがアイドルになって逆推力がほとんどなくなるからである。この場合、残る片方のエンジ

ンで飛ぶことになるが、左右アンバランスな推力のため、止まったエンジン側に機体が回転する。しかし、それもラダーで抑えることができる。ただし、その操縦を誤ると横滑りを起こして減速し、失速から墜落する危険性はある。

しかし、緊急事態で的確な判断と操舵ができるかどうかは、パイロットしだいである。事故機はその後墜落をはじめ、ついには空中分解した。落ちたところはバンコクの北西二〇〇キロの山の中であった。乗客乗員二二三人全員が死亡した。この航空会社のニキ・ラウダ社長は、元F1ドライバーで、自身もパイロットで、この会社を興した。彼は事故後、ロンドンのガルフエア社のB七六七のシミュレータを借りて事故を再現してみたが、リバーサが開くとエンジンはアイドルになることを確かめた。彼はシミュレータをだましてフル推力を出させようとしてみたが、できなかった。

しかし、事故機で実際に安全装置が働いたかどうかはわかっていない。しかし、そのまえに警報は出ていた。批判する人は、そのときエンジンを止めて着陸し、地上で原因を確かめるべきだった、という。ラウダはこれに対し「クルーがリバーサ展開の警告灯をみたあと、そのエンジンを停止しなかったのは正しい対応だ。……ブック(技術指示書)どおりにやった。間違ったことはしていない」といっている。機械とコンピュータが次々に過失を重ねたあと事故を食い止める最後の砦がパイロットである。

おそらく、これまでも多くの事故が、この目に見えない砦によって未然に防がれたが、それがこの事故ではうまく働かなかったようだ。

# IV 過ちは人の常
## —人為ミス—



ことになる。

## ぐらつく判断

航空機事故が起こると、人命財産の損失に対しては、民事、刑事、行政上の責任が問われる。航空事故は、テロ以外は故意に起こされるものではない。故意がなければ、過失があったことになる。

設計室の中でか、製造工場か整備工場でか、コックピットの中で。もしかしたら管制タワーでかもしれない。乗員の過失の内容は主に不注意（注意義務違反）である。法は不可能を強いるものではないから、普通、注意義務の成否と範囲を決めるときに標準になるのは、一般人の注意能力であるが、訓練を受け、資格を付与されたエアラインのパイロットには、一般人以上の注意能力が要求される。しかし、パイロットといえども所詮、人の子であり、過ちを犯す。

いや、最近の認知心理学では人間のもつ優れた能力を積極的に評価する立場から「人間のエラーは人間の能力に対しわれわれが支払っている代償である（ノーマン）」とする考え方もある。たしかに、サイリングが『航空の死活問題に対する完全な答え。ジェット機は本当に安全か？』（邦訳『航空安全革命』）で書いているように、「定期航空便で発生した人身事故一件で誰かが過ちを犯したとすれば、それに対し、安全に飛行を成し遂げたその他の約一六〇〇万回では、誰かが何か正しいことをした」のである。緊急の事態が発生したがパイロットの優れた判断と技量によってことなきを得た例は、多数あるのだが、達成された安全は人の注目を引かな

い。

しかし、航空輸送システムが巨大化し、したがって事故の被害も甚大になったため、この一六〇万分の一のミスも許されないタイトな状況になっているのだ。

航空機の機械、エンジン、航空電子関連機器などの、いわゆるハードウェアの信頼性が向上し、その故障に起因する事故は減った。これに対し、人間が何らかの形で関与している事故の件数は減らず、依然として事故件数全体の七〇パーセント余を占めている。その結果、人間的要素は航空機システム中の弱いリンクと見なす傾向が現れた。しかし、航空事故では人間のエラーが他のいろいろな事象との複雑な絡み合いで起こることは、すでに多くの例でみた通りである。ここでは、人間的なエラーに焦点を当て、その特徴が出ている事故例を幾つか示そう。

離陸を途中で断念してオーバーランする事故は増え続けている。ボーイング社は、このままでは一九九五年には、離陸中断が年間六〇〇〇回起こり、そのうち六回が事故になると予測をしている。英国民間航空局の調査では、一九六二年から一九八六年までの二五年間平均で一年当り約三件のオーバーラン事故が発生しているが、近年はむしろ増加傾向にある（一〇〇万飛行時間当りの発生率は〇・三二になる）。これに対し、全事故発生件数はこのところ年間十数件から二〇件の間であるから、このオーバーラン事故は決して無視できるものではない。過去の離陸中断により起こった事故の八〇パーセントは、もしそのまま離陸継続していたら、防げ

たと考えられる。以下に述べるUSエア機の事故もその一例である。

一九八九年九月二〇日、ニューヨークのラ・ガーディア空港はひどい混雑だった。天気が悪かったうえに管制の不手際も手伝って数時間というものスケジュールの遅れが続いた。そのため、運航のキャンセルが続出した。米国で最も多くの路線が集中するこの空港では、年に二、三回はこんなことが起きる。バルチモアからラ・ガーディア経由ノーフォーク行きのUSエアの一八四六便のB七三七型機も目的のラ・ガーディア空港が混雑したため、バルチモア発の予定が一五時一〇分から三時間以上も遅れて一八時四六分になった。

離陸まで誘導路で一時間半も待たされたため、燃料補給にもう一度ターミナルに戻らねばならぬといった状態だった。それでも無事ラ・ガーディア空港に到着したが、時刻は二〇時四〇分




1989年９月22日　朝日新聞朝刊より

になっていた。会社のオペレーション・センターはそこから先のラ・ガーデアー—ノーフォーク間の飛行をキャンセルし、客は降ろして機材をノースカロライナ州のシャロット・ダグラス空港まで回送することに決めた。しかし、そのまた数分後、空席で飛ばさないで、客を乗せてUSエア五〇五〇便としてシャロットまで飛ぶよう指示してきた。

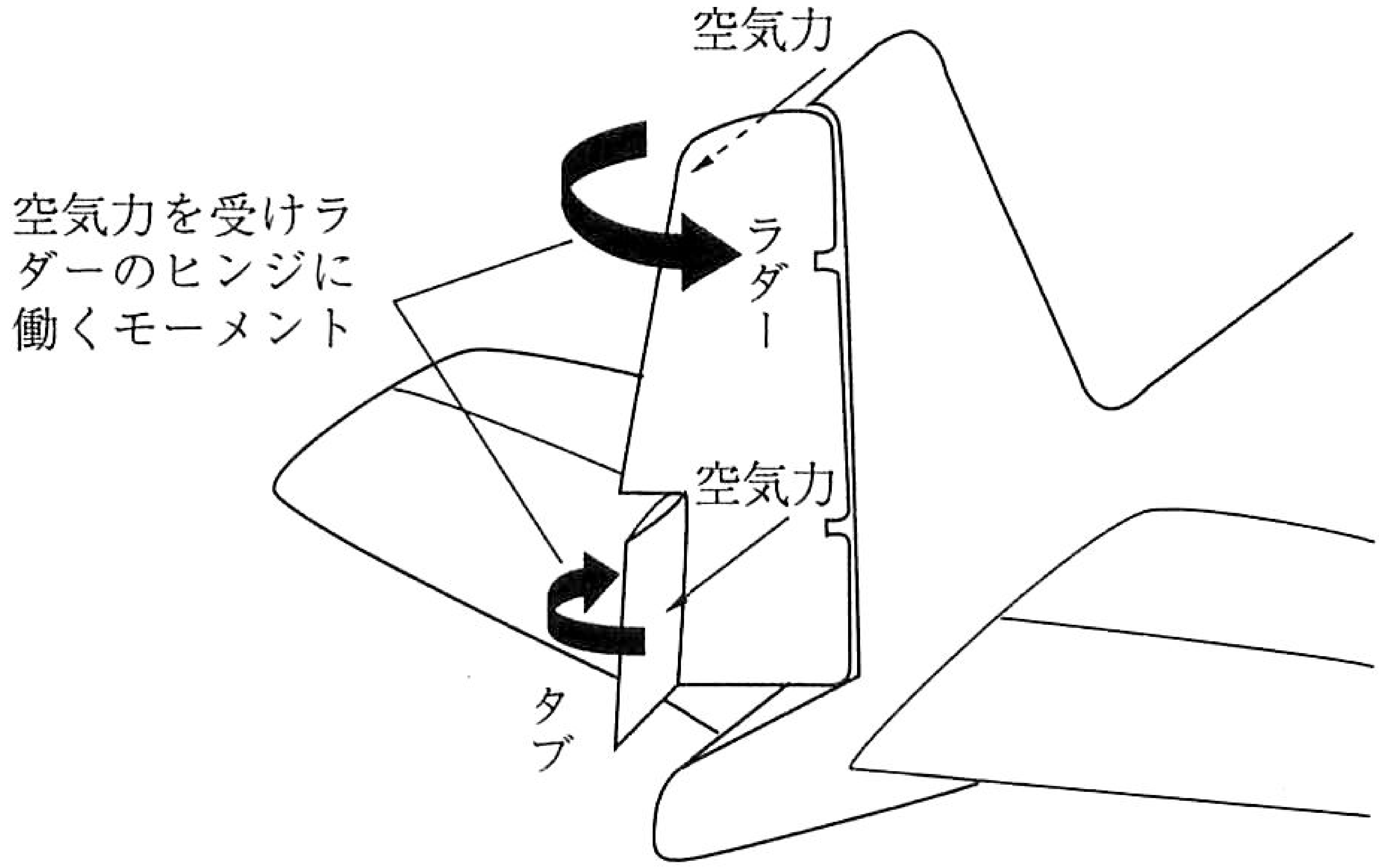
機長は驚いた。この機長は二ヵ月前に機長に昇格したばかりだった。ノーフォークよりも四〇〇キロも遠いシャロットに飛ぶことになると乗務時間が制限を超えてしまうのを心配した。客が乗ってくるあいだに、機長は会社の運航管理者に事情を確かめに行った。

その留守中のことである。副操縦士は操縦席に残っていたが、いろいろな人がコックピットに出入りし、操縦席の間の中央台の上にチャートや天気図を置いたりした。そのとき誰かがその台に取りつけられたラダー・トリム設定器のダイアルを左に一杯に回したらしいが、誰もそれに気がつかなかった。これが事故の引き金になった。ラダー・トリムというのは、ラダー（方向舵）を操舵するとき片方のペダルに長い間力をかけていると足が疲れるので、ラダーについているトリム・タブという小さな翼を傾けて、左右ペダルのアンバランスな力をなくする操作である（図IV—1）。

これが誤ってセットされていたため、滑走中、どちらかのペダルを踏み続けていないと、ラダーは中立位置からずれ、機首がどちらかに振られる。それを前輪で無理に舵をとろうとし

たため、タイヤがパンクし、それがきっかけになって判断が狂い、最も重大なミスであるオーバーランにつながったのである。

　タラップが外されたあと、今度は乗客係主任が開いていた操縦室の窓越しに、ドアを開けて欲しい、もっと客を乗せたいからと頼んだが、機長はそれを拒絶した。もう二三時に近かった。これ以上遅らせられない。駐機場から出て誘導路GGの手前で、いったん停止しなければならなかったが、うっかり通過してしまい、改めて管制から指示を受けた。それから、離陸前チェックに入った。副操縦士が「スタビライザー・アンド・トリム」と問いかけると、機長ははじめ「セット」とだけ答えたが、すぐに「スタビライザー・トリム？……答えを忘れたよ。離陸にセット」と訂正した。しかし、ずれ




IV－1　トリム・タブの働き

てセットされていたラダー・トリムは直さなかった。この受け答えから考えて、機長はスタビライザーのトリムだけが頭にあり、ラダー・トリムのことは念頭になかった疑いがある。

副操縦士が「自動ブレーキ」と問いかけ、機長が「オフ（切り）」と答えてチェックリストを終了した。メーカーのボーイング社とＵＳエアは、オート・ブレーキの使用を勧めていた。これに反して自動ブレーキのスイッチを切ったことは、あとで離陸中止しようとしたときにブレーキの効きはじめるのが遅れ、オーバーランの一因になった。

事故調査委員によれば、機長はエンジン・スタートのあとラダーのミス・トリムに気が付くべきだった。なぜなら、デジタル・フライト・データ・レコーダ（ＤＦＤＲ）の記録をみると、タクシーしているとき、ラダー・ペダルを左右で一一センチもオフセットして踏んでいたからである。機長はあとで「気がついていたが、空軍でＣ一三〇型機（四発ターボプロップ輸送機）を操縦していたときは、オフセット・ペダルでするのに慣れていたので、気にしなかった」と語っている。

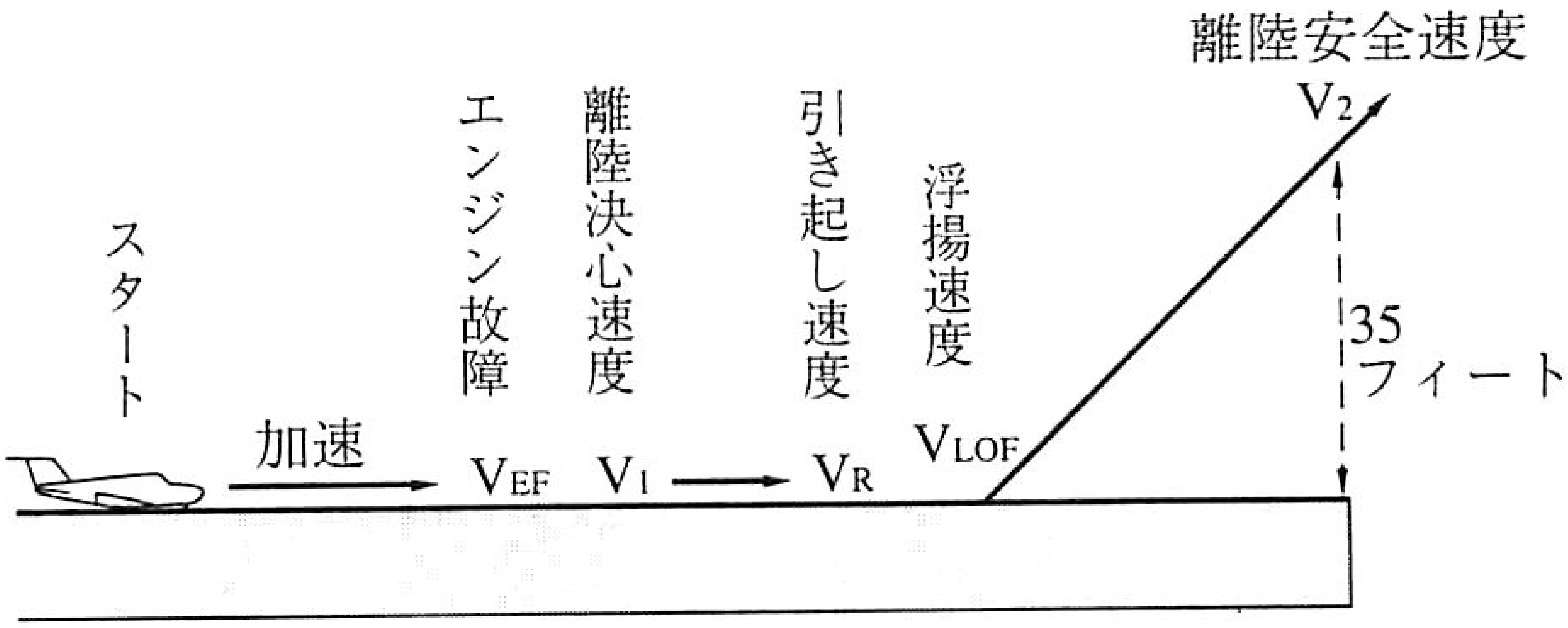
エンジン回転が上がってきた。副操縦士は「離陸・復行ボタン」を押そうと思って間違って「オートスロットル解除ボタン」を押してしまった。機長はそれに気づき「オーケー。間違えてボタンを押したな」といって、少しして「オーライ。私がパワーをセットしてやろう」といった。離陸滑走中、パイロットは二人とも機が左へ左へとずれるのに気がついた。機長は前輪の

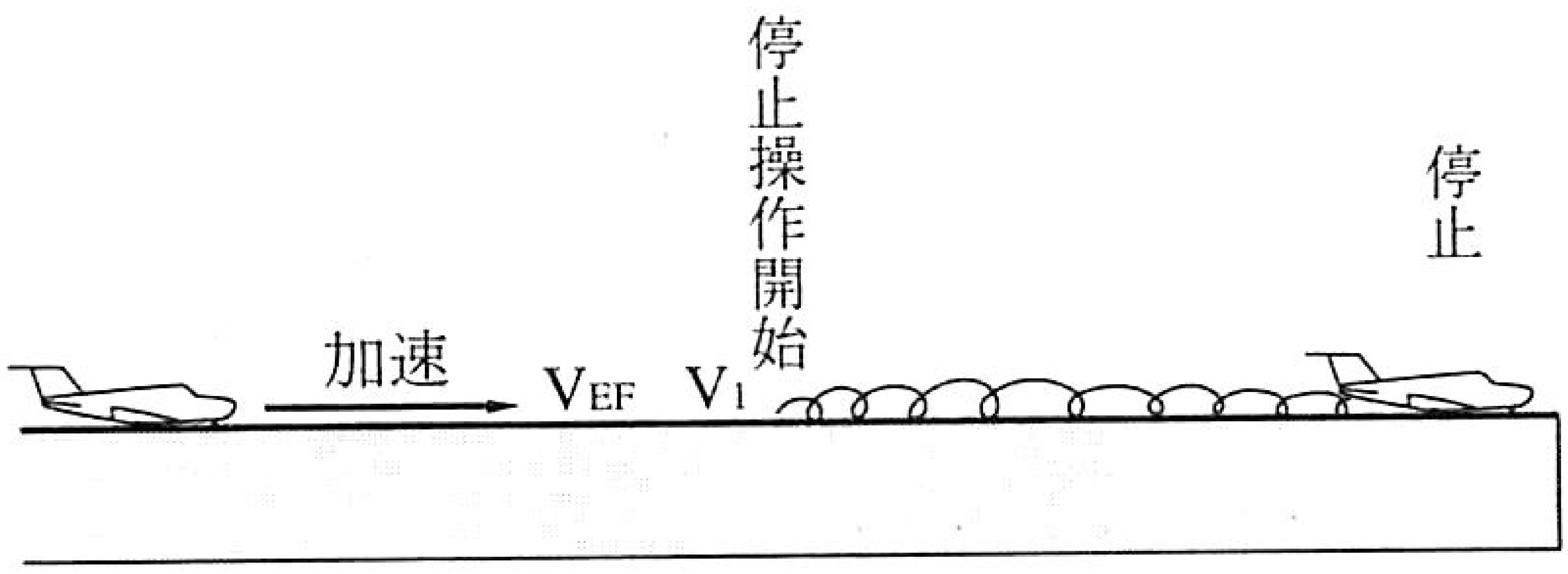
舵とりでそれを戻そうとした。副操縦士がラダー・ペダルを踏んでいたので、それが効いて方向が維持されていた。機長はそれを前輪の舵とりが効いているものとばかり思っていた。

スタートして一八秒後、「バン」という音がしたあと、がたがたという大きな音がした。速度が上がったので、舵とりしていた前輪に無理な力がかかり、タイヤがパンクしたのである。

そのあと機長は「(君が) コントロールを取った」といった。副操縦士に右ラダーでトリムするように助言するつもりだったというが、言葉が曖昧なため、副操縦士はそれを「私がコントロールを取った」の意味にとり、機長がラダーを操舵するものと期待した。それで「オーケー」といって右ペダルの力を緩めた。ラダーの角度は右一度から右八度に変わり、機の進路がずれてきた。こうして誰も操縦していない異常な状態になった。五秒経ってから機長は「Let's take it back (意味はあとで説明)」といった。機体の左へのずれと「がたがた」という音が依然続いていたのが不安になって、離陸を中止しようとしたのである。Let's take it back という言葉は標準的な用語ではなかったから、副操縦士には何のことかわからなかった。USエアでは「reject (とりやめ)」というのが正式である。

高速での離陸中断は危険な操作で、二人のパイロットの協力が必要だから、意思疎通を十分にするためには、用語は分かりやすく簡潔でなければならなかったのに、機長の言葉は変則だった。副操縦士はなぜ離陸を中止するのか分からなかった。実際、機の横へのずれは滑走路の




IV－2　離陸決心速度$V_1$

幅の半分くらいでしかなかったから。減速操作を開始したとき機速は一三〇ノット（秒速約六六メートル）に達していた。機は結局、滑走路末端以前では停止できず、フェンスをオーバーしてバワリー湾の水中に飛び込み、進入灯の基礎に乗り上げて止まり、胴体は二つに折れた。折れた場所に座っていた二人の乗客が持ち上がった床に押し潰されて亡くなった。

　離陸を中止するか継続するかの判断は、離陸決心速度$V_1$で行う規則になっている（図IV―2）。離陸滑走中、速度が$V_1$以下でエンジンが故障したときは、離陸を中止

するためエンジンを停止しブレーキをかければ、滑走路末端の手前で停止できる。逆に、$V_1$以上でエンジン一つが故障したときは、停止するのに長い距離が必要になり、オーバーランの危険がある。そのまま残りのエンジンで精一杯加速すれば離陸を継続でき、必要な上昇性能も得られる。ところが、この$V_1$だけで離陸中断か継続かを判断するのには不合理な場合がある。それは、次のような点である。

①停止操作は遅れがちである。$V_1$より高い速度で停止操作が開始されることが多い。実際に離陸中断の五八パーセントは$V_1$以上の速度で行われている。したがって、停止するためには計算された値以上の距離が必要になり、オーバーランが起こる。

しかし、この問題は、一九七八年に米連邦航空規則（FAR25）が改正され、それ以後に開発された機種については、エンジン故障速度$V_{EF}$でエンジンが故障してから$V_1$でそれに気づくまでの認知時間（一秒）と、気がついてから停止操作を開始までの遅れ時間（二秒）が離陸距離の計算で考慮されるようになったため、事態は改善された。

②離陸を中断するのはエンジン故障のときだけではない。タイヤの破裂や警報が誤って作動したときとか、航空交通管制の混乱によっても起こる。その他取るに足りない不審事でさえパイロットの判断を狂わせ離陸中断を行わせる。一九六二年から一九八六年までの二五

年間に、大型のターボジェット機とターボファン機が、オーバーラン事故を起こした離陸中断のうち、三〇パーセントだけがエンジン故障によるものであった。それ以外の七〇パーセントはエンジンは正常に作動しており、そのまま加速して離陸できるのに離陸を中断し、かえって事故を起こしている。

そこで、メーカーでは、例えば一〇〇ノット（秒速五一メートル）以上に達したら、エンジンが故障の場合以外は、よほど飛行の安全に重大な影響が及ぶ兆候でもない限り離陸を継続するという考え方を力説するようになった。

スイス航空のP・ヴェプファ機長は著書『機長の決断』の中で、グラナダで起こった事件を紹介している。あるエアバス三一〇型機は次に述べるような、機長の適切な判断で辛うじてオーバーランを免れた。

胴体側面には、静圧（機体付近の大気圧）を測定するため、静圧孔が三つ並んで開けられている。この圧力はピトー管式速度計の基準圧として使われるから、この孔が詰まると正しい速度計の指示が得られない。ある朝、離陸しようとしたら、三つの孔全部に虫が巣食っていたが、誰もそれに気づかなかった。

離陸滑走をはじめたが、機速は増したのに速度計の指示は上がらない。すべての警報装置が

「離陸を中止せよ」と騒ぎ出した。しかし、機長は自分の判断で飛び上った。もしコンピュータを優先していたら、高速滑走からの停止となり、おそらく事故になったであろう。著者は「パイロットが操縦に直接介入できないシステムであったらどういうことになっていたか想像できるだろう」といっている。

これは、自動化とパイロットの関係を考えるうえで重要な点である。しかし、すべてのパイロットがこのA三一〇型機の機長のように振舞うとは限らない。パイロットは異常な音や理解できない計器の針の動きによって判断を狂わされやすいからである。

## しっかりした着陸

着陸はパイロットが日常的に行っている仕事であるが、これがかなり難しい仕事である。実際、一九五九年から一九八九年までの三〇年間に進入と着陸で三八九件の事故が起こり、三四二三人が亡くなっている。これは全航空事故の約半数に当たる。

着陸を失敗して滑走路の端から飛び出すオーバーラン事故が多く、年間で四~五件の割で起こっている。どうしたらこれが防げるであろうか。完全自動着陸は、機上搭載機器や地上の支援設備が完備し管制上の制約がないなどの、特定の条件下では技術的に不可能ではないにしても、現実のターミナルでの複雑な環境では実行できない。やはり、依然としてパイロットのス

キルが活かされる飛行領域である。

羽根布団の上に乗ったのではないかと思わせる柔らかな着陸をするパイロットがいる。「うまい」と乗客は感心する。しかし、ボーイング社の運航技術グループのブレーク機長らは、かえって渋い顔をする。彼らは「もっとしっかりと着陸しろ」という。なぜだろうか。ソフトな着陸をするためには接地速度を遅くするため長いフレア（機首を引き起こす操作）をしなくてはならない。例えば、空中で一〇ノット（秒速五・一四メートル）減速するには七〇〇メートルも距離が要る。同じ減速を着地後ブレーキですれば一〇〇メートル（滑りやすい滑走路でも一七〇メートル）以下で足りる。

だから、進入速度が超過していたとしてもターゲット・ポイント（接地目標点）に接地するようにもっていくことが大切である。主脚が接地したらすぐに、機首を下げて前脚も接地させる。そうすれば、第一に機体の方向のコントロールの助けになる。第二に、翼の揚力が減るから、タイヤにより多くの重量がかかり、地面摩擦が増えブレーキの効きがよくなる。このようにして、オーバーランは防げる。

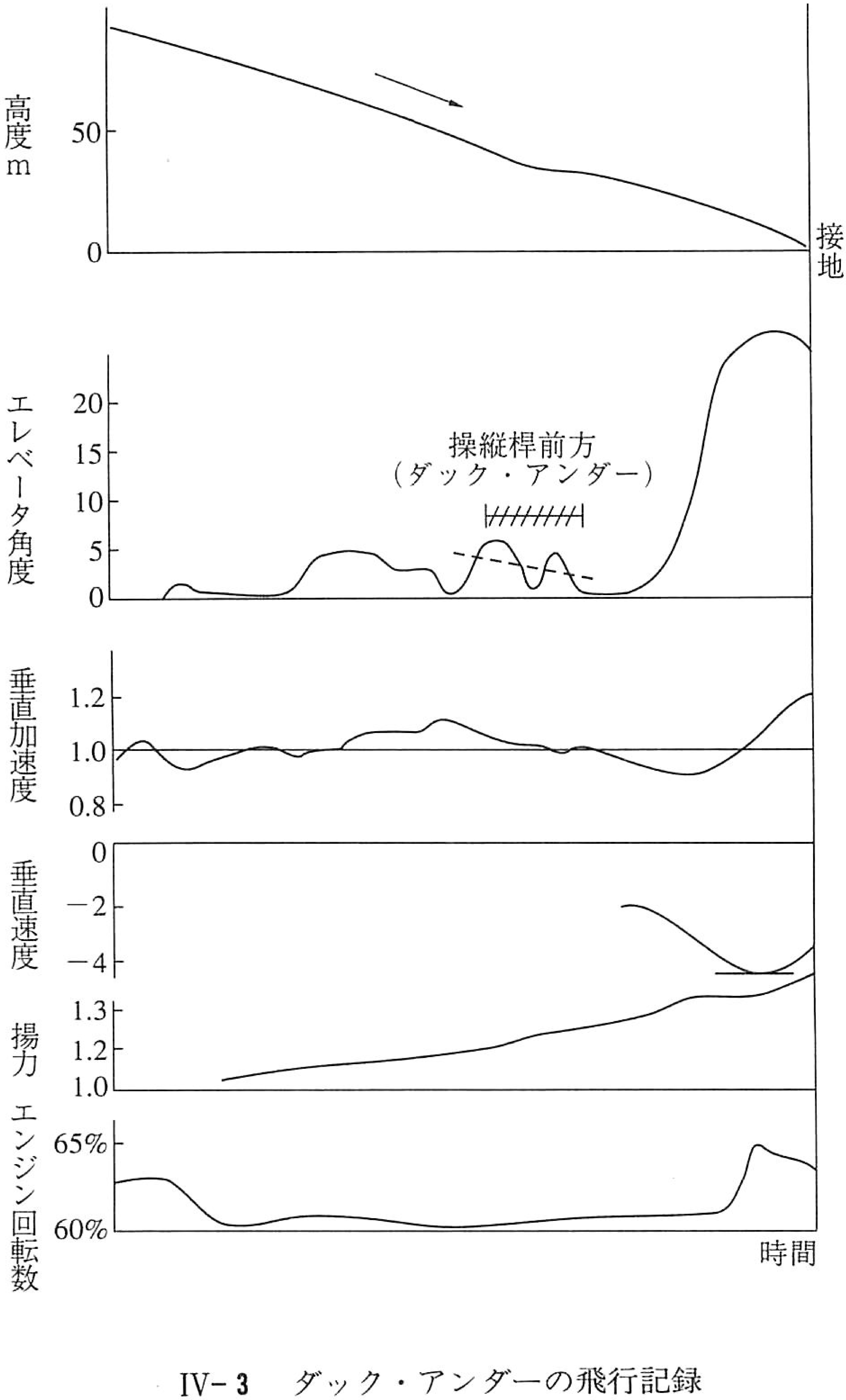
しかし、よい着陸は安定した進入からはじまる。標準的な進入速度で進入すれば、なにも無理をすることはない。滑走路上、少なくとも一七〇メートル高度に達したときには速度、経路、機体の姿勢が安定しているのが、よい進入とされる。進入速度が速すぎることは事故の主な

原因になる。滑走路の末端の五〇フィート（一五メートル）以上の高度を基準速度$V_{REF}$（フラップを着陸位置に下げたときの失速速度の一・三倍）以上の速度で通過しなければならない。

しかし、この基準速度は一般に低過ぎて、速度がふらついたり降下角を正確に保持することが難しいため、たとえばボーイング社は、これに五ノット（秒速二・六メートル）を加えた速度を推奨している。また、向い風や突風が吹いていればそれぞれに修正を加えるから（向い風に対しては公表値の五〇パーセント、突風はまるまる一〇〇パーセントを加える）、そのような気象状態で着陸するときの進入速度は標準的な速度よりかなり大きくなる。

この速度で着陸すると、着陸距離が長くなるから、この余分の五ノット（秒速二・六メートル）と定常風の修正分は着地するまでに減速しておかなければならない。この減速のため、着地前のフレアの時間が長くなり、着地が遅くなるから、着陸距離は延びる。このフレアで秒速一メートル減速するのに、空中距離は約一二〇メートル延びる。だから、超過速度が一〇ノット（秒速五・一四メートル）であれば、着地は六〇〇メートル以上も遅れるので、オーバーランのおそれが出てくるのだ。

進入速度が高いと、パイロットは接地点が遠くなるのをおそれて、なるべく手前に着陸しようとして急いで機首を下げることがある。この操縦がアヒルが首をひょいと水中に突っ込む仕草に似ていることから、ダック・アンダーと呼ぶ。




IV−3　ダック・アンダーの飛行記録

旧ソ連邦では、一九八〇年代に起きた事故のうち、このダック・アンダーによるものが多かったと報告されている。とくに、一九八八年には、同じ日にツポレフ一五四型機が二機も、この異常な操縦がもとで、ハード・ランデング（急角度で着陸したため強い衝撃で機体が破損する）で事故を起こした。その一つ、ノルリスクで起きた事故では、進入中にエンジン推力が大き過ぎたため速度がつき過ぎ、パイロットはエンジンを絞って減速したが、機体の運動は不安定になった。

さらに、高度三〇メートルで操縦桿を前に押して機首を下げたため、降下率は五メートル毎秒以上になった。しかし、パイロットはすぐにはそれに気づかず、接地の一・五秒前になってはじめて操縦桿を一杯に引いたが間に合わず、三・一五Gのハード・ランデングになった（図Ⅳ―3）。

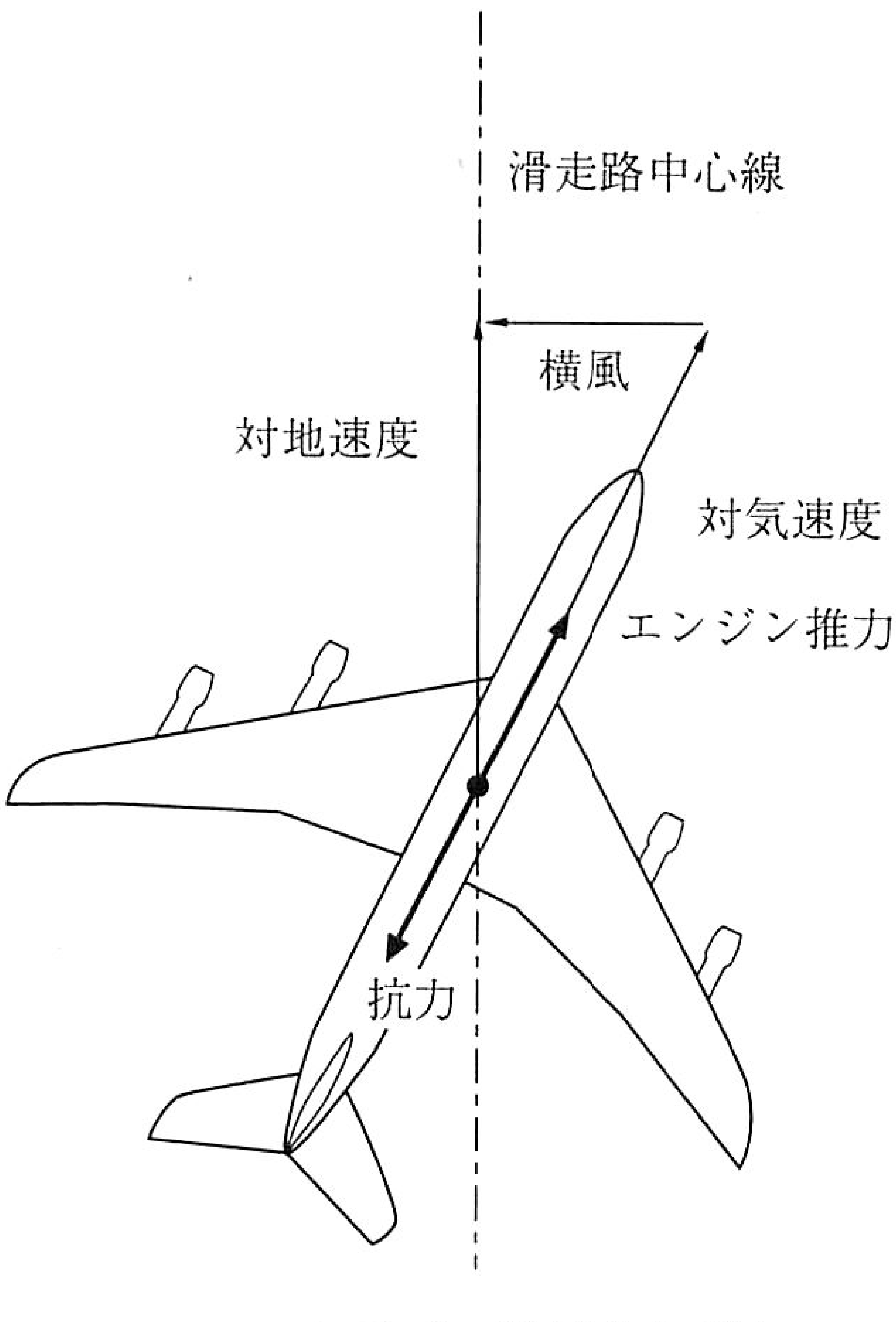
横風があるときは、風の方向に機首を向けて進入する。この姿勢が蟹の横ばいに似ていることから、この操縦はクラブと呼ばれる（図Ⅳ―4）。この着陸法では、着地寸前に機首を横に振って、滑走路中心線の方向と機体軸を一致させるデクラブという操縦を行う。クラブ姿勢をとっているときは機体を風に正対させるから、横風の力を受けず、横揺れも起こらない。そのため、運動は安定するはずであるが、地面に近づくと風が変わるから、なかなか理屈通りにはいかない。

そのうえ、デクラブしたあとは、機体は横風を受けるから、横方向に流そうとする風の力を受け、また風上側の翼が上がる横揺れを起こす。この運動をエルロンとラダーを使って抑えなければならない。これが先ほどのフレア減速と重なるときは、その操縦の難しさは倍加する。

強い横風中で着陸しようとして、激しく地面に当たったり、横揺れを起こして翼が地面に接触することにもなる。このように進入と着陸が不安定になる原因は、強い横風やウィンドシアなどの気象条件、管制上の要求などいろいろと多い。そのようなときは復行を考えよと、ボーイングの運航技術グループのブレーク機長らは強調している。

## しっくりいかない二人

緊急事態に、機長と副操縦士が違った判断で行動したらどうなる




IV−4　クラブで横風中を飛ぶ

のだろうか。「アビアンカ航空B七〇七型機、ニューヨーク・ケネディ空港で燃料切れで墜落」という見出しで報道された事故は、この乗員間の協調がとくに大切であることを教えている。アビアンカ航空といえば、南米で最古の歴史を誇り国際線も運航しているコロンビアのフラッグキャリア（国営航空会社）ではないか。

それが燃料切れとは何事か。燃料を積み込むとき量を計り間違えたのではないか。しかし、実際にアビアンカ機は墜落し、一五八人のうち七三人が死亡した。だがその原因は「燃料切れ」のひとことで、いい表されるほど単純ではなかった。

このアビアンカ航空機は、一九九〇年一月二五日、コロンビアのメデリン空港を一五時頃離陸し、二〇時過ぎに米国東海岸に接近した。この日、ニューヨークでは天気がよくなかった。管制センターは悪天を冒して次々と到着する飛行機の流れをさばくのにてんてこまいであった。アビアンカ航空機も着陸順番を待って、東海岸上空で三回、合計七七分も待たされた。視程が悪かったし、ウィンドシアの危険もあったので、他の空港に行く先を変更するのが賢明であった。

実際、この日この空港に着陸予定の二三機が、他空港に変更している。しかし、長く待たされて燃料に不安があり、また管制塔が多忙に紛れてアビアンカ機に滑走路の状況が悪くて着陸が極度に困難になったことを伝えなかった不手際もあって、機長は行く先変更を考えなかっ

た。

普通、目的空港の天気が悪くて着陸できない場合を想定して、出発前に飛行計画をたてる段階で代替空港を決めておいて、そこまで飛ぶための予備の燃料を積み込むことになっている。そのうえ、機長は会社の運航管理者と協議して、あらゆる不測の事態に備えて必要と判断した時には、さらに予備の燃料を積むことになっている。

ところが、事故機の機長は代替空港と燃料管理について運航管理者との間で十分に打ち合せをしてこなかった。散々待たされたので、予定着陸許可時刻は最初二〇時三〇分だったが、さ


毎日新聞（夕刊）　1990年（平成2年）1月26日（金曜日）

# コロンビア旅客機
# ニューヨーク郊外で墜落

## 乗客ら149人乗り
## 着陸直前、死傷者多数

生存者も確認

麻薬関連の見方も

## 都内10カ所に防災要員宿舎
10年間 緊急時の職員確保で

都が計画

毎日新聞 夕刊

1990年1月26日　毎日新聞夕刊より

らに二度変更されて二一時〇五分になった。この最後の予定時刻変更のとき、副操縦士は管制に燃料はその時刻後五分しか持たないと告げた。その日、地上との交信は副操縦士が担当していた。

二一時一一分、いよいよ空港に進入することになったが、あと二キロの距離に近づいても滑走路は見えなかった。そのうえ、低い高度にウィンドシアに伴う強い下降流があって、進入が不安定になり、高度は下がり過ぎて地面接近警報が鳴った。機長は「滑走路はどこだ。見えないぞ。全然見えない——着陸装置を上げてくれ。ギヤアップだ」と叫んだ。こうして着陸を断念し復行したあと、機長は事態が切迫したと感じた。

それでマイクを握っていた副操縦士に向かって「緊急事態だと管制タワーにいってくれ。燃料がないと知らせるんだ!」といった。機長はそのあとすぐ、もう一度、同じことをいった。副操縦士は「知らせてありますよ」と答えた。機長にしてみれば、緊急事態と伝えれば他機に優先して着陸するようタワーが配慮してくれると思ったのである。しかし、副操縦士はタワーとの交信では「燃料が切れそうだ」とはいったが「緊急」という言葉は一度も使わなかった。管制塔は復行中のアビアンカ機にさらに二四キロ北東に飛ぶように指示し、燃料は大丈夫かと聞いた。そのとき、副操縦士はどういうつもりか「多分、持つと思います。たいへん有難う」と答えている。

この副操縦士の口ぶりからは、緊迫したコックピット内の状況はまったく伝わってこない。これで、タワーが機の陥った窮状を知る手がかりはなくなってしまった。二度目の進入がはじまった。管制タワーはそのとき二度も機の針路を変えさせた。時間はどんどん過ぎていった。そのとき、航空機関士が「三番エンジンの火が消えた。一番と二番エンジンも危ない！」と叫んだ。そのあとボイスレコーダの記録は、エンジンが止まって行く音を最後に、途切れた。その時点でアビアンカ機は墜落した。機長と副操縦士がこのようにちぐはぐな言動をしていたのでは、緊急事態に対応できないのは当然である。

事故原因を調査した国家交通安全委員会ＮＴＳＢは、大勢としては乗員と運航管理者の連携の失敗を重視しているが、一委員は「乗員の落度があったからといって、管制側の責任を過小評価してはならない。乗員は視程に関する情報を空港のタワーから受け取っていない。進入に失敗したのは滑走路が見えなかったからだ。管制官も負担が大きすぎるのに、適切な支援がない」と異論を唱えた。乗員も「他のエアラインが当夜受けていたサービスを、我々は受けていなかった」と主張した。

操縦士訓練機器メーカーのフライト・セーフティー・インターナショナル社の飛行基準部副部長のシュワルツは「大抵の場合、平均八つの出来事の連鎖が事故に関わる」と分析した。上述の事故も、

①悪天候
②乗員と運航管理者の不協調
③燃料管理の不適切
④交通管制の不手際
⑤長引く待機時間
⑥乗員間の協調のまずさ
⑦緊急事態を通達する標準的用語の欠如

などが事故につながる要因として挙げられる。

このように、多くの不祥事が、次々とより合わせた縄のように絡みあって、事故になるのだ。

## 隠れた欠陥

このほか、普段は問題にはならない潜在的欠陥がある。この欠陥の特徴は、事故が起こる前から社会―技術システムに内在していることである。

たとえば、一一八ページで述べたUSエアの事故での潜在的欠陥の一つは制御装置の操作機

器の設計のまずさである。ラダー・トリムのノブの形はラダー(方向舵)に似せて作ったため か、羽根の形に突き出ており、それをつまんで左右にずらすようになっているため、不注意に動かされるおそれがある。B七三七型機では、この事故の前にも、六度もラダー・トリムのミス・セットがあった。そのすぐ側にエルロン・トリム操作器があるが、このほうは二つのトグル・スイッチ(ノブを上または下に押している間だけ電流が通じ、手を離すと切れるスイッチ)が金属フランジでガードされているので、不注意に操作されるおそれはずっと少ない。ラダー・トリムにも同じくらいの人間工学的配慮が必要である。メーカーのボーイング社は、近くこのラダー・トリム・スイッチを改造するという。

その二番目の潜在的要因は「生産圧力」で、これは会社の経営に関係する。機長には自分が乗る航空機の安全に対し責任があり、必要な場合安全を優先させなければならない。そのために、機長は運航管理者の指示を変更して飛行を延期したり、中断したり、航空路を外れることができることになっている。しかし、実際には、機長はスケジュールを守るという重圧の下で行動し、天候の回復をゆっくり待つこともできない。あるときには、管制の指示に従順なあまり、状況が悪いのに目的空港まで飛んで、そこに着陸している。

前述した乱気流で墜落したノースウェスト航空七〇五便の機長は、離陸前、管制官に指示されたコースに乱気流があることを知り、そのことで管制官と争ったが、結局、その指示に従っ

た。

この場合には、第三の隠れた原因がある。それはこの事故機の乗員が二人とも経験不足だったことである。機長（三六歳）は空軍出身で、五年前にピードモント航空に雇われ、機長候補としての訓練は三ヵ月前に終了したばかりだった。しかも、一ヵ月半前にピードモント航空はUSエアに合併された。いっぽう、副操縦士（二九歳）は四ヵ月前にピードモント航空に採用され、一ヵ月半前に副操縦士の訓練を終えたばかりで、このフライトが副操縦士としての初の乗務であった。

このような未経験な二人が同じコックピット内で乗務するのは好ましいことではないから、このような組合せを防止する手だてを講じる必要がある。しかし、USエアではそのような配慮をしていなかった。このような不安定な雇用関係の陰には航空会社規制緩和（デレギュレーション）がある。一九七〇年代にはじまった米国の航空会社規制緩和は企業間の競争を促すことによって利用者によりよいサービスを提供することを狙ったものである。新規企業が参入してきた影響は大きく、業界はかなり混乱した。既存と新規を問わずエアラインの倒産が続出し、吸収合併される会社も多かった。ピードモントもその一つであった。企業合併は従業員の士気に深刻な影響を及ぼす。

米国バージニア工科大学のリンダ・F・リトル博士はパイロットの配偶者を対象にアンケー

ト調査を行った。その結果、経営が安定した航空会社が吸収される場合と、不安定な航空会社が吸収される場合とでは、乗員のストレス症状に有意な違いがある。不安定な会社が吸収される場合は、乗員は生活の安定は一応得られるものの、将来の希望を失い、怒りっぽくなり、疲労、精力減退、セックスへの関心の減少、悲観的態度などが見られる。

これらの要因は、コックピット内での乗員の行動に影響するのは必至である。とくに乗員間のコーディネーションの欠如は問題を起こす。一九八〇年頃から、この乗員間のコーディネーションの改善を目的としたCRM訓練が、世界のエアラインの乗員訓練に取り入れられはじめた。しかし、事故機のパイロットは二人ともこの訓練をピードモントでもUSエアに入ってからも受けていなかった。

CRM（Cockpit Resource Management）とはどんなものか。ハーバード大学のハックマン博士によれば「航空機が技術的に飛行可能な状態にあり、乗員も一人一人は職務をまっとうしていたにも関わらず事故になった事例は余りにも多い。……CRMの考え方とは、乗員を自己修正の利く優れたチームとして作りあげることである。このようなチームは誰かがミスを犯したり困難に陥ったりしても、チームとしての機能が働き、それが修正される」といっている。

したがって、CRMでは緊急事態が発生したとき、コックピット内にある利用可能なすべて

の人的、物的資源を活用するために、乗員間のコミュニケーションが最も重要視される。コックピット内のヒューマン・ファクター（人間的因子）を理解するため、その教科目の内容は、まず心理学や認識学からはじまっている。人間の感覚、知覚から認知、記憶、そして思考に至る、人間の知的な機能についての学習が行われる（筆者にはこのようなまの心理学の知識が実際、コックピット内での乗員の行動に生かせるものかどうか疑問に思われるのだが）。

最近、乗員教育訓練用機器（フライト・シミュレータなど）の世界的メーカーであるフライト・セーフティー・インターナショナル社の飛行基準部のシュワルツ副部長は、この点について「我々は心理学的視角から離れつつある。その代わりに強調されているのは、チームワークのスキル（コンセプトではない、もっと実践的な技能）と advocate（人が何かをうまくやれるように言葉で力づけること）のノウハウである」といっている。今では、CRMにも物理学から工学への転換に似たことが起こっているのである。

米国の連邦航空局の主任科学技術顧問のフーシェー博士は「我々はCRM訓練を今世紀最後の一〇年の最重要開発の一つと考えている」といっている。ヨーロッパ民間航空会議も乗員訓練所が七〇時間のCRM教育を行うことを希望している。このような人間性そのものにまで立ち入った訓練が必要になった背景には、あとで述べる高度の自動化にともなって機械と人間の間の葛藤が起こってきたことがある。

## 霧の迷路で

一九九〇年一二月の霧深いデトロイト空港での出来事である。ノースウェスト航空所属の二機が地上衝突した。いっぽうは着陸したＤＣ九型機で、誘導路から使用中の滑走路上に迷い出たところで、他の離陸滑走中のＢ七二七型機と接触した。ＤＣ九は胴体をＢ七二七の翼で打たれて、八人が死亡した。

この事故は、よくあるパイロット・ミスのようであるが、関係者たちの言い分を聞くと事情はそれほど単純ではない。そこには航空機事故の原因を一つに絞り込むことの難しさが現れている。

その日、デトロイト空港には霧が深く立ちこめていた。公式の気象情報では、視程は離陸に必要な最小限の四〇〇メートルとなっていたが、誘導路を走っていたＤＣ九型機の乗員は「霧の壁を突き抜けているようだった」と語っている。濃霧の中で離陸を強行したＢ七二七型機の機長は、なぜ離陸を止めなかったかを聞かれたとき、「誘導路のある部分では四〇〇メートル以下だったかもしれないが、滑走路に出たときはよくなっていた」と答えている。副操縦士が視程はミニマム以下だとコメントしたときも、機長はそれを無視した。なぜなら機長は「法的な最小限を満たしていたのに満足していたから」である。


1990年(平成2年)12月4日 火曜日 朝日新聞 (夕刊)

旅客機が衝突、炎上

米デトロイト空港滑走路 乗客8人死亡

1990年12月4日　朝日新聞夕刊より

同じように、DC九型機の機長は「誘導ラインの上にいる限り、止まる理由はまったくない」といい、副操縦士も「天気が悪くなったらATIS(空港当局が常時、自動的に放送している空港情報サービス)がそれを通報するというのが、私の市民社会での経験だ」といった(この副操縦士は空軍に二〇年勤務したのち、ノースウェストに移って七ヵ月であった)。

視程に関する公式情報が、正しかったかどうかの議論は別にして、パイロットまたは地上の管制官が安全な視程を判断する責任があるかどうか、の問題が提起されている。あるパイロットは事故調査委員会で「法律と航空界の慣行では、機長が最終的には乗客乗員の安全に責任をもっているが、機長は気象観測者としての訓練を受けておらず、正確な気象情報については他の情報源に依存している」と証言

している。マサバ航空のある機長は「あなたが見て天気がATISの通報より悪いのではないかと思っても離陸するか」と尋ねられて、「離陸する。公式の視程は四〇〇メートルだったから。それが会社のポリシーだ」と答えた。

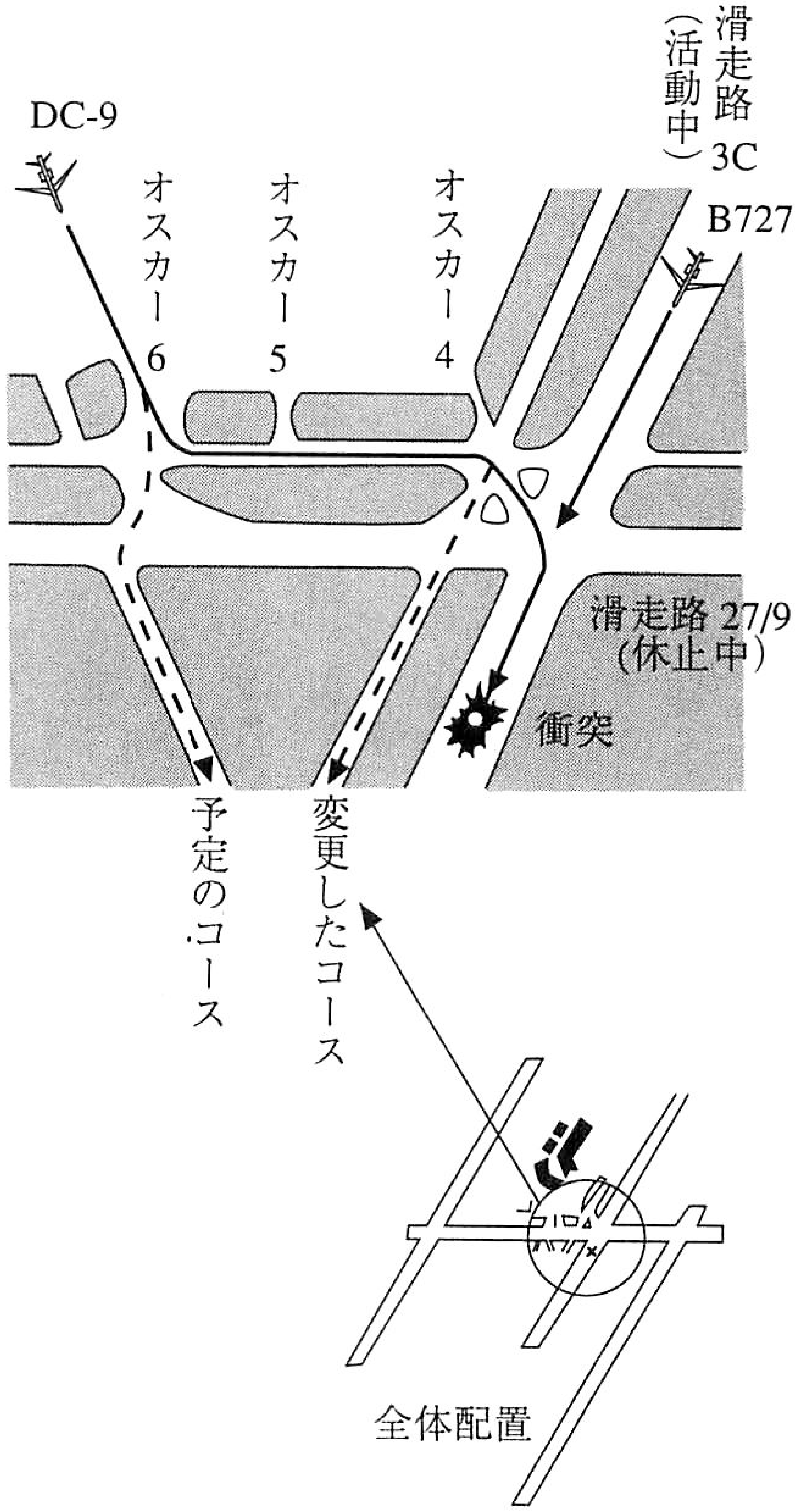
委員会のあるメンバーは、「そのときの当番ではなかったある管制官は、視程は二〇〇メートルだと思ったと聞いている。これが公式視程になっていたら運航は止められただろう」と残念がっている。

公式視程の値はどうであれ、実際の視程は悪かった。それがDC九型機の乗員を重大な二地点で迷わせた。機長は二万時間以上飛んでいるベテランパイロットであったが、六年間の病気休暇から戻って機長として飛ぶのはその日がはじめてで、副操縦士も民間航空の経験はわずか七ヵ月だったが、機長はこの副操縦士に頼り切っており、事実上機長としての判断を放棄していた。

デトロイト空港は晴れていても、迷いやすいことで悪名が高い。斜めに交差する滑走路の間を縫って誘導路が迷路のように走っている。エアライン操縦士協会のある役員はそれを「身の毛のよだつ空港」と表現している。なかでもオスカー四とオスカー六と呼ばれる地点は迷いやすかった。DC九型機のパイロットはこの両方で道を間違えた（図Ⅳ―5）。

ゲートから出て誘導路フォックスに向かったDC九型機は、オスカー六に差しかかった。こ

の交差点から滑走路二七／九を横切って誘導路フォックスへ行く道は直線のように描いてあるが、実は障害物を迂回して「く」の字形をしていた。DC九型機はここを南東に進むはずのところを、東に進んだ。コンパスでチェックすれば間違いにすぐ気づいたであろうが、「今ならそれは分かりきったことだ。しかし、コックピットの中ではあれもこれも手いっぱいで、それ




IV-5　デトロイト空港

どころではなかったんだ」と副操縦士はいっている。
その先で迷ったことに気づいてタワーと交信し、オスカー五と四を経由して滑走路二七／九を横切ることになった。オスカー四にきた。そこは五差路になっていた。そこで鋭く右折する代わりに中途半端に右折をしたため、機は滑走路三Cと二七／九の交差点に向かう斜めの道に入ってしまい、黄線が迷路のように走る中を進んだ。誘導路中心線を示す灯火は緑色であり、黄線は誘導路と活動中の滑走路との接続点を示していたが、機長は管制に迷ったことを知らせて指示を待つ代わりに、副操縦士の誤った助言に従って、B七二七型機が今まさに離陸しようとしていた滑走路三Cに入っていった。このとき機長は副操縦士に頼りきっていた。
濃い霧を透して機長はおぼろげに白い灯火と白線を見た。そこはもう、活動中の滑走路の中だった。驚いた機長は機を滑走路の片側に寄せたが、滑走路に入ってから二分も経たないうちに衝突が起こった。DC九型機に火災が発生し九人が死んだ。
国家交通安全委員会（NTSB）はこの事故の原因として、

①地上管制のエラー
②不正確な気象観測
③パイロットを戸惑わせる空港のレイアウトと不適当な標識

④乗員間の協調がなかったため、タクシー（離着陸前後に誘導路や滑走路をゆっくり走行すること）をやめて位置確認をしなかったこと

などを挙げている。そのほか、ノースウェスト航空では十分なCRM（コックピット内の乗員のパフォーマンス改善）の訓練を乗員に施していなかったことも、聴聞会で問題になった。

委員会は、この事故原因分析結果に基づき一八の勧告を出したが、その主なものは、標識と照明を改善すること、緊急脱出訓練を改善すること、地上管制官の基準をよりきびしくすることなどであった。この勧告に対して、管制官の組合は反発した。「肝心なのはDC九型機が霧の滑走路に迷い込んだことだ。位置が不明になったら管制に知らせるのが乗員の義務だ」と。

いっぽう、航空会社の操縦士の組合（ALPA）の議長は委員会が乗員間の協調の欠如をことさら強調している点を取り上げて、「委員会は一つの事故には一つの原因があるという古い考えに、今でも取りつかれている。多くの事故は出来事の連鎖が絡んだ複雑なものなのだ」と批判した。

この事故にも隠れた原因がある。その一つは、NTSBの指摘の三番目にある空港施設の不備である。米連邦航空局FAAによる三二の主要空港の調査結果では、滑走路標識のメンテナンス不良、誘導路灯の間隔と配置方向の不適切ないし不均衡、など改善すべき点が多いことが

わかった。乗員組合（ALPA）は一九四八年以来、政府に対し飛行機と同様に飛行場についても検定制度を設けるよう勧告してきた。

乗る飛行機が安全なことをいくら力説しても、それが安全でない空港に着陸しなければならないのでは、なんの意味もない。安全な滑走路、除雪設備、進入路の障害物の除去に至るまで、空港運用のあらゆる面での最低基準の確立をALPAは要求しているのである。

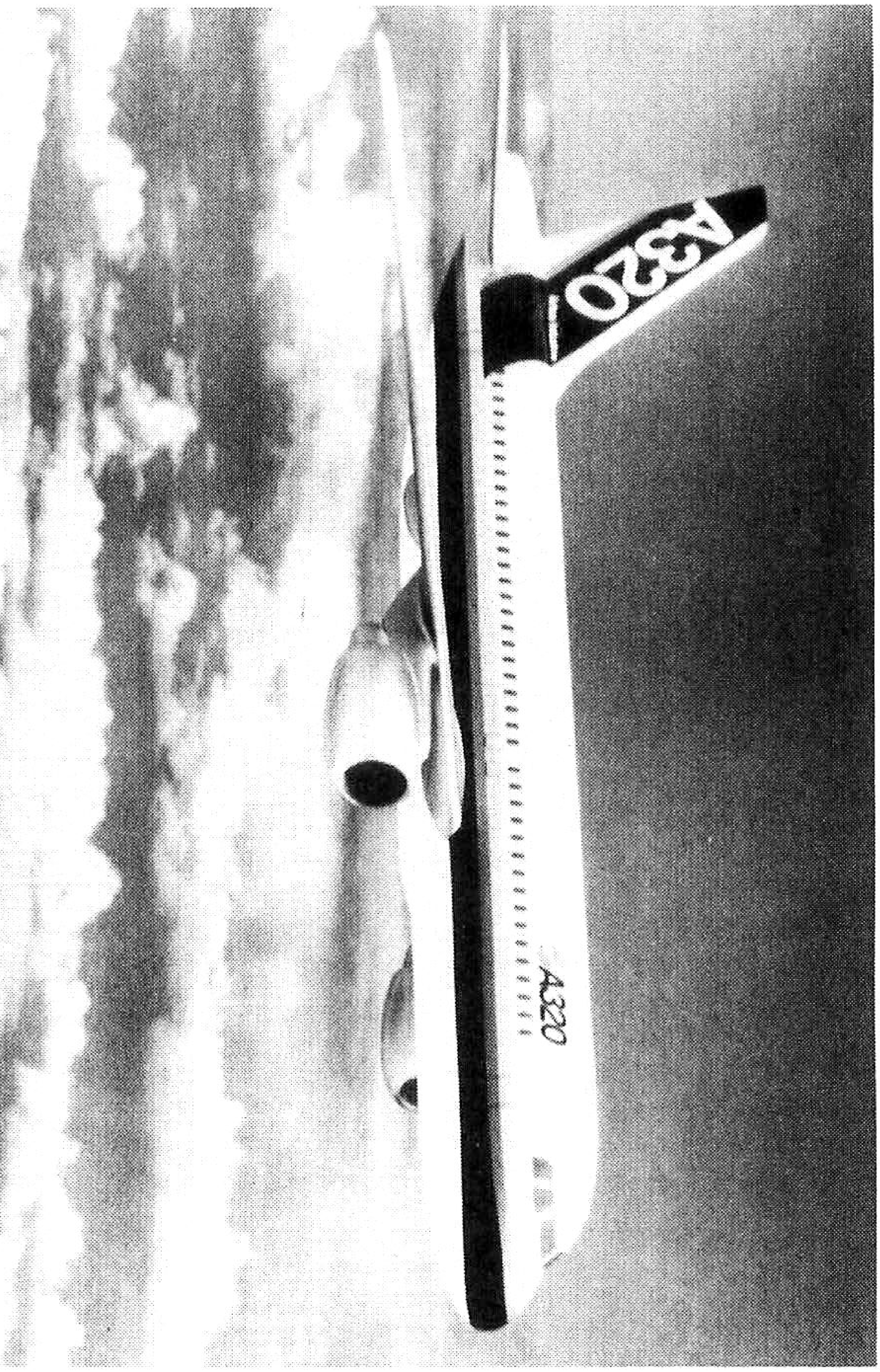
東南アジア地域の発展途上の国々では、空港施設が急ピッチで改善されている。それはよいことであるが、工事が一時にあまり大規模に行われると、交通安全には障害となる。一九八九年にマレーシアのクアラルンプールで起こったフライングタイガーの墜落事故（一九四ページ）も、パイロット・ミスも絡んではいるが、建設工事が進行中の混乱した状況下で起こった事故である。

各国の航空情報管制機関は所管の空港施設の運用状況、業務、危険などについて、一時的なものや迅速に知らせる必要のある航空情報をNOTAM（Notice to Airmen）として利用者に提供している。この日もクアラルンプール空港では大規模建設工事が進められていた関係で、大量のNOTAMが出ていた。乗員はそれに対し十分に対処できないでトラブルを起こした。「もしもこの工事場騒ぎがなかったら」というのは、この事故の要因の中の、いくつかの「もしも」のひとつにすぎないが、この事故は起きなかったであろう。

航空交通管制（ATC）と新世代機とのミスマッチも問題になっている。たとえば、従来から堅持されてきたセパレーション（管制間隔）の基準の見直しも求められている。この点では、現在のATCは、最も後れた航空機を標準に運用されているといわれる。マイアミ大学のウィーナー教授は「ハイテク機が装備した飛行管理コンピュータは、ものの役に立っていない。なぜなら、いまのATCは上昇、降下速度が遅い旧式機に対して設計されているため、降下速度が速いB七五七型機などはスピード・ブレーキを使わなければならない。このことが飛行管理コンピュータを上昇降下に有効に使用する妨げになっている」と批判している。

A三二〇型機（Ⅳ―6）のホームグラウンドのヨーロッパでも、航空会社はATCのもたつきが運航に悪影響を及ぼす重大な要因になっていると考えている。ATCの改善は、国の努力を必要とするから、民間の手の及ばぬところである。しかし、当局はこの問題には鈍感で、話しあいにならぬほど権力的だとの批判がある。

同様にEC（ヨーロッパ共同体）の輸送インフラストラクチュア委員会の公表文書でも、一九九三年から五年間に高速列車には一三三億ECU（欧州共同体の通貨単位）の給付があるが、ATCの改善には四億ECUしか割り当てられていない。自動車道路にはその四倍の割当があるというのに。航空雑誌インタラビアのコンドーム編集長は、この数字にはECの抱える



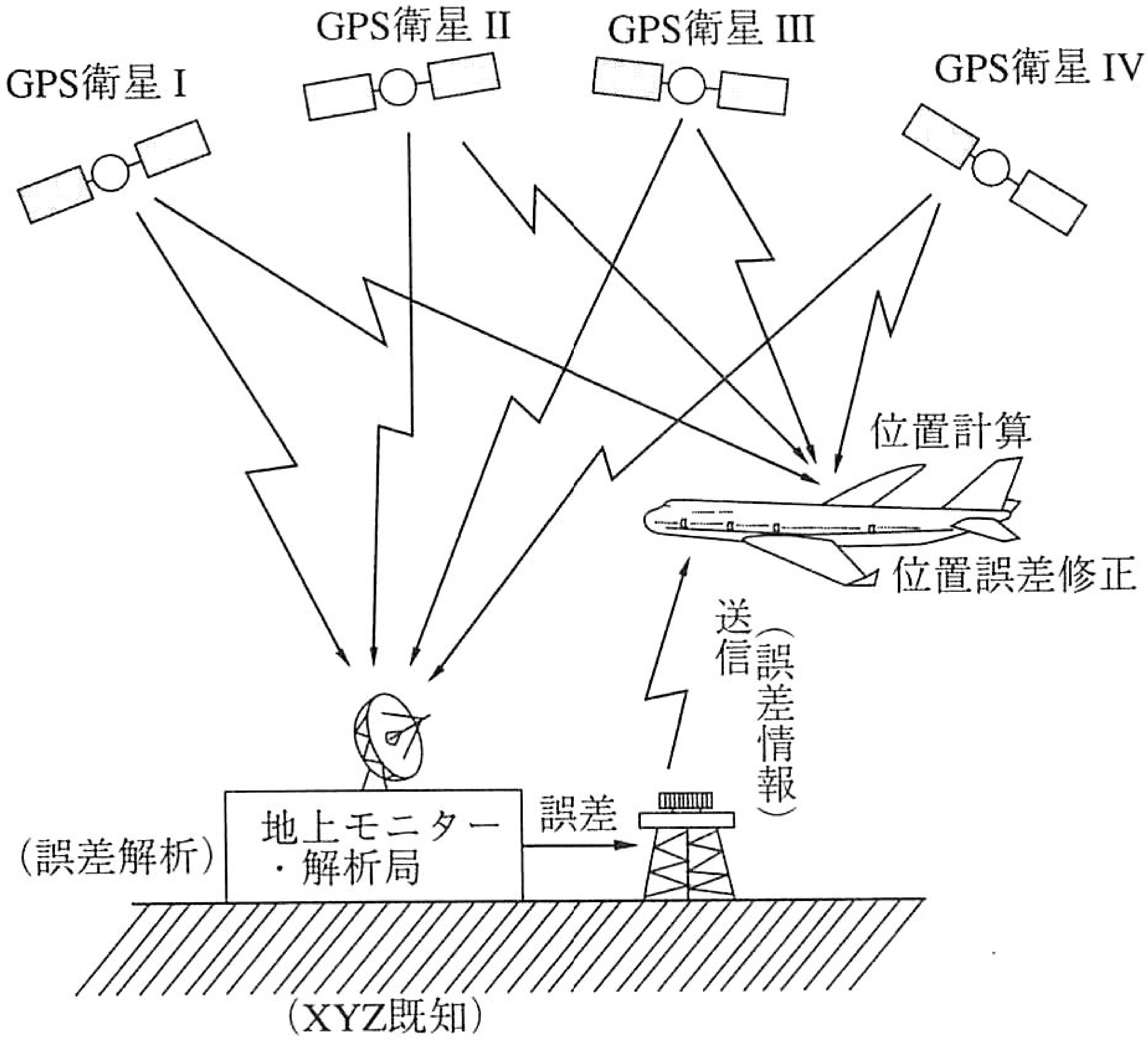

IV－6　エアバスA320型機（提供：ロイター＝共同）

ATCの問題の緊急性が反映されていない、と批判している。

先進諸国でさえこの状態である。発展途上国ではなおさらのこと、空港施設、航空援助施設が貧弱で、ATCにも問題が多い。たとえば霧の日にインドのボンベイ空港に到着すると災難である。その飛行機がカテゴリーIIIの全天候運航（視程ゼロでも計器飛行で着陸すること）ができる装置を搭載し、資格をもつパイロットが乗っていたとしても、空港に自動着陸を支援する設備がないから、霧が出ると引き返さなければならないのである。インドでは多くの空港がターボプロップ機だけを取り扱っているので、無指向性無線標識設備（NDB）やVHF、無線航空支援設備、通信サービス、気象情報提供などがない。ジェット機を取り扱っている空港でも、超短波全方向式無線標識施設（VOR）、距離測定装置（DME）、精密進入経路指示装置、計器着陸システム（ILS）などがない。国家空港局には壮大な計画はあるが、財政的裏づけはなく、慢性的な資金不足に悩んでいる。

新世代のハイテク機は、本来、気象条件が悪い北米やヨーロッパで視程が悪いときでも運航できるように、高度の飛行制御システムを装備している。北米やヨーロッパのATCはそれ相応に整備されていて、この飛行制御システムを活用できる。ところが、インドなどの低緯度地方では、視程は一般によいからこのシステムが本当に必要な機会が少ないうえに、ATCの体制が整っていないから、機会があっても折角の航法システムが役に立たないことが多い。つま

り、ハイテク機が想定している条件とはちぐはぐなのである。
それなのに、インド航空は一九八九年のうちに一五機のA三二〇型機の引渡しを受けた。一九九〇年二月にこの会社のA三二〇型機がバンガロールで墜落した。パイロットの操縦ミスが原因であるという。機材の近代化だけ急いでもいい結果は得られない。
ATCにもお国柄が現れる。空港がよく機能するためには、社会は犯罪が少なく、治安が良く、政情が安定していなければならない。それに、軍事が優先される国では民間航空の安全確保は難しい。最近、航空雑誌「Aerospace」に、ある社会主義国に何度も行ったことのある機長の経験談が載っていた。その機長が操縦する機が着陸しようとしたとき、管制官が突然空港を閉鎖したと告げ、それ以外何の説明もなしに、すべての航法援助設備のスイッチを切ってしまった。
仰天した機長はATCの援助なしに後続の到着機との間隔を維持しながら、代替空港に進路変更しなければならない羽目になった。その原因が故障なのか軍事行動のためなのかは公表されていないから一切わからない。この国のATCに欠けているのは標準化であると、オーストラリアの国際開発援助局の専門家は指摘しているが、秘密主義の国に国際的標準化を期待することは無理だろう。
一九九三年一月、インド航空が乗員つきでロシアのウズベキスタン航空から借り受けたツポ




IV－7　デファレンシャルＧＰＳの原理

レフ一五四型機が、管制官の中止勧告を無視して霧のニューデリー空港に着陸しようとして失敗し、滑走路を飛び出して横転する事故があった。不幸中の幸いで死者はなかった。その一ヵ月後、今度はイランのテヘラン空港を離陸した同じウズベキスタン航空のチャーター機が戦闘機と空中衝突し墜落した。ＡＴＣの国際的標準化の問題は、ソ連の崩壊後のボーダー・レス世界が抱え込んだ新しい問題である。

このＡＴＣに関わる問題解決の決め手になると期待されているのが、ＧＰＳ（全地球測位システ

ム、Global Positioning System）の航法への応用である。ＧＰＳは、米国の軍が打ち上げた一九個の測位衛星からなる。航行中の飛行機は、そのうちの四個の衛星が発信する電波を受けてそれに含まれる位置情報を計算処理し、自機の三次元位置と速度を決定するものである。

つまり、移動体の三角測量である。ＧＰＳの標準位置情報サービスの公称精度は一〇〇メートルであるが、さらに測位精度を上げるためには、デファレンシャルＧＰＳ（ＤＧＰＳ）の方法がある（図IV－7）。これは空港付近に地上ＧＰＳ局を設ける。ＧＰＳで測ったこの地上局の測定位置と実際の位置を比較すると、各衛星に対する観測量の補正値が求まる。この補正量を空中の飛行機に送信し、機上ではこれを使ってＧＰＳに含まれる系統誤差を修正すると、精度は飛躍的に改善される。

日本でも、航空宇宙技術研究所が電子航法研究所の協力をえて仙台空港で行った予備実験結果では、進入着陸時のＤＧＰＳの精度は一〇メートル程度であった。

米国では、ＦＡＡがＧＰＳを悪天候下での着陸援助装置として導入する計画を進めている。アトランテイック・シテイにあるＦＡＡの技術センターでは、ＤＧＰＳを使った試験が行われ、その結果、カテゴリーＩの計器着陸用施設（正確な進入のため、方位と降下経路の情報を与える二つの指向性電波を発信する設備）を利用した場合に準じた性能が実証されたと伝えられる。

GPSによる運航は、従来の地上の航行援助設備に依存した従来の航法から、衛星利用・機上のセンサーに依存する新しい航法への転換を意味する。このGPSが実用化されれば、地上設備が十分でなくても、必要な装置が機上に搭載されていれば計器着陸ができる。そうなれば、これまでのレーダーをベースにした着陸援助施設よりもかなり安価になるから、それにとって代わる可能性がある。

エアラインは、むしろ、GPSの導入を望んでいる。また、地上の航行援助施設の整備がまだ十分でなく、今後多額の経費負担に苦しむ開発途上国にとっては、救いになるであろう。ビジネス・チャンスを求めるあるメーカーは、中国はこのGPS方式の空港を作るべきだといっている。

GPS利用上の問題点は、軍が独自の目的でほとんど定期的に実施する意図的な精度切下げ(selective availability)である。米国の運輸省は国防省とこの問題を解決するために協議しているが、いっぽう、このような懸念のない別個の衛星システムを希望する声も強い。旧ソ連のGlonass衛星システムを米軍のものと併せて利用するGNSS(Global Navigation Satelite System)はその解決策の一つである。

一九八五年八月、日航のジャンボ機が御巣鷹山に墜落した。パイロットは尾翼が破壊されていたのを最後まで知らなかった。筆者はある報道関係の人から「テレビで機体が見えるようにしてはどうか」と意見を聞かれた。そのとき私は専門外の人は素朴な発想をするものだとしか考えなかった。たとえ尾翼がなくなっていたことに気付いたとしても、あの場合手の打ちようがなかったからである。

ところが、いま、イギリスの民間航空局はカメラの機外取りつけを真剣に考えている。それにはイギリスで起こった次のような二つ


朝日新聞

524人乗り日航機墜落

長野・群馬県境で炎上

羽田発大阪行き　大破、全員絶望か

「ドア破損」と連絡直後

河本特命相が辞表

商工中金

1985年８月13日　朝日新聞朝刊より


英でB737炎上

離陸時に爆発、死者54人

22日、マンチェスター空港で離陸に失敗、燃え上がり死傷者多数を出したボーイング737機 ＝AP

圧力隔壁を 米側も調査

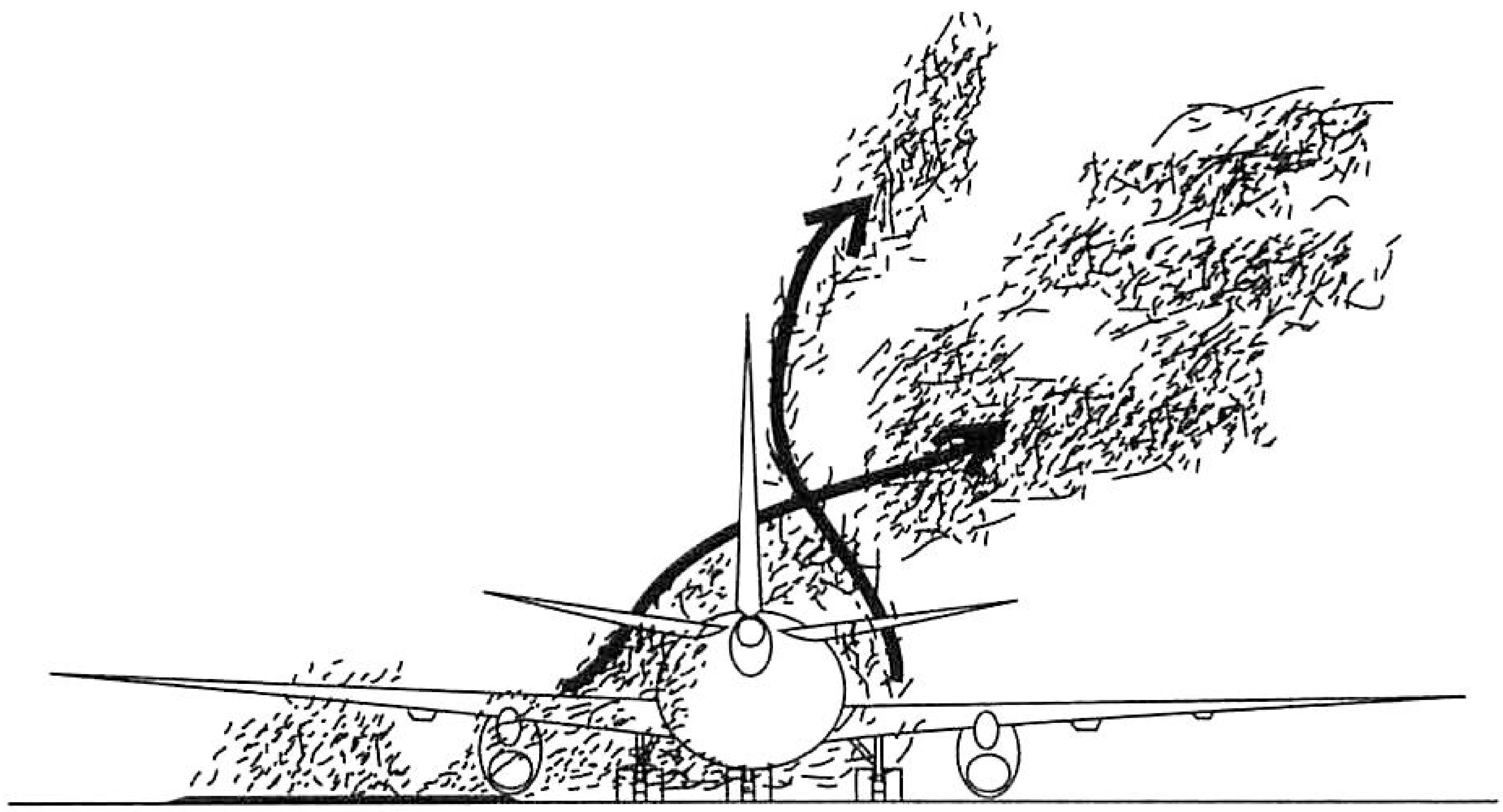
日航機事故現場

1985年８月23日　朝日新聞朝刊より

の事故が動機になっている。

一九八五年八月二二日ギリシャのイオニア諸島でレジャーを楽しもうとする客を乗せたブリティッシュ・エアツアーズ社のチャーター便のB七三七型機がマンチェスター空港を離陸しようとして全力疾走していた。そのときエンジンの燃焼室が破損して缶形の金属製ケースが外に飛び出し、左主翼に下から当り、燃料タンクに穴をあけた。漏れ出た燃料は、エンジン後方に尾を引く巨大な火柱となって燃え上がった（図IV－8）。機長は、速度が秒速四六メートルに達したとき「ズシン」という音を聞き、タイヤのパンクか鳥の衝突と思って離陸を中止し、エンジンを逆

推進にして停止にかかった。
そのとき機長は、管制塔に緊急脱出が必要かどうかを尋ねている。エンジンから派手な火が上がったのに機長にはそれが見えなかったのである。機長は緊急脱出を指令したが、一刻の猶予も許されなかったにもかかわらず、止まる前に滑走路を空けようとして左に旋回し、狭い誘導路に入った。そのため消火と救助活動が困難になり、みすみす五五人の焼死者を出す始末になった。もし、機長が火災の激しさに気づいていたら、滑走路上に止まったまま緊急脱出をしていたであろう。
もう一件は、ミッドランド・エアウェイズ社B七三七―四〇〇型機がロンドンからベルファストに向かって飛んでいたときのことである。左エンジンのファンのブレード（羽根）が一枚




IV−8　ブリティッシュ・エアツアーズB737型機の火災

の先端から四インチのところで折れて振動が起こり、エンジンは異常燃焼を起こした。暖房用空気はそのエンジンからとっていたため、室内にはキナ臭いにおいがしてきた。そこで機長はイースト・ミッドランド空港に緊急着陸を行った。ところが、パイロットの一人は左エンジンが故障していたのに、誤って正常な右エンジンを停止させてしまった。そのため、機は高度を失い滑走路手前九〇〇メートルで地上に衝突し、四七名の乗客が死亡し八〇名が重軽傷を負った。

実は、このときエンジンの振動計は、左エンジンの故障を正しく指示していたが、そのパイロットは、このB七三七—四〇〇型機のデジタル化されたレーザー表示を信用していなかったうえ、エアコンの空気は右エンジンからとっているという不正確な知識から、臭いがしたのは右エンジンが故障したからと思い込み、隣のパイロットに確認もせず誤った処置をとってしまったのである。

事故発生時にある客室乗務員と乗客は左エンジンから火らしいものが出ているのを見ていた。もし、パイロットがそれを見ることができ、間違えず故障した左エンジンを停止していたら、大事にはならなかったろう。目視で確認することは、技術がどんなに進んでも必要なことである。

米国の航空心理学の権威であるウィーナー教授は、ハイテク機ではコンピュータ操作のため

下を向いて仕事をすることが多く、そのため、外部監視がおろそかになりやすいことを問題にした。教授は、それを補うものとして衝突防止装置ＴＣＡＳが装備されているが、これはあくまでも補助であって、パイロットは目視による回避操作に努めるべきであると考えている。

いま、エアライン三社が、胴体（Ｂ七四七型機では頭部のふくらみ）の上にカメラを取りつけることを考慮中といわれる。いまのところ、実際にカメラを装備したのは有名なハロッズ百貨店の所有者であるモハメッド・アルフェイド氏所有のガルフストリーム四型機で、五個のカメラを機体外に、一つをコックピット内に装備している。

## 空中衝突

一九九二年末、航空管制官が加入する労働組合「全運輸」がショッキングな調査結果を発表した。アンケート調査では管制官の二一・二パーセント（二九八人）が、この一年間にニアミスを経験したというのである（これに対し航空局の公式発表では一件）。このニアミスの定義は管制官自身が危なかったと感じた状態をいう。その発生原因は、人間のミスが一位で、航空交通の過密によるものの割合が増加している。

最近も、大阪空港に進入待機中の全日空とキャセイ・パシフィックのＢ七四七型機が一〇〇メートルに接近するという事件があった。当初は両機とも管制官が指示した約三九〇〇メート



# DC9と小型機衝突

乗客・乗員67人死亡　住民10人も死ぬ

米加州

1986年９月１日　朝日新聞夕刊より

ルの高度を飛んでいた。両機の接近に気づいた管制官が、キャセイ機に高度を下げるように指示したが、間に合わなかったという。

このようにニアミスは依然として跡を絶たない。しかし、定期航空便同士の空中衝突は一九六〇年頃まではあったが、それから後はほとんど聞かれない。しかし、定期航空便と小型機や軍用機との衝突は、ときどき起こっている。つい最近も、一九九二年一二月二二日、リビアのトリポリ国際空港に進入中のリビア国営航空のＢ七二七ー二〇〇型機が、同国空軍のミグ二三型戦闘機フロッガーと衝突し、乗客乗員一五七名全員が死亡した。

また、一九九三年二月には、イランのツポレフ一三四型機が戦闘機スホーイと衝突した。ここでは一九八六年に米国で起きたDC九型機とパイパー機の衝突を例にとり、問題点を考察してみよう。

八月三一日、メキシコ・シテイを発ったメキシコ航空の四九八便のDC九型機は、ロサンゼルスに着陸しようとした。ターミナル管制から誘導されて、約二〇〇〇メートルの高度を降下していた。そのとき、パイパーPA二八型機（チェロキー）がほぼ左直角方向から尾翼にぶつかった。DC九型機のパイロットはパイパー機の接近に気づいた形跡はなかったが、衝突時に機長は「オー、こんなことがあっていいのか！」と叫んだ。水平尾翼をもぎとられたDC九型機は墜落した。DC九型機の乗客乗員六四人とパイパー機の三人が死亡したほか、地上の一五人が巻添えになって死に、八人が軽症を負った。

管制官の指示を受けて、その通り飛んでいて衝突するとは、何事であろうか。例によって様々な要因が絡んでいるが、管制官がパイパー機のエコーがあったのに、それを見落としたのが一因とされている。この管制官は、経験豊かで仕事もプロらしくてきぱきと処理する人だった。飛行機の操縦もしていた。この人が鮮明に見えたはずのターゲットを見落したのである。

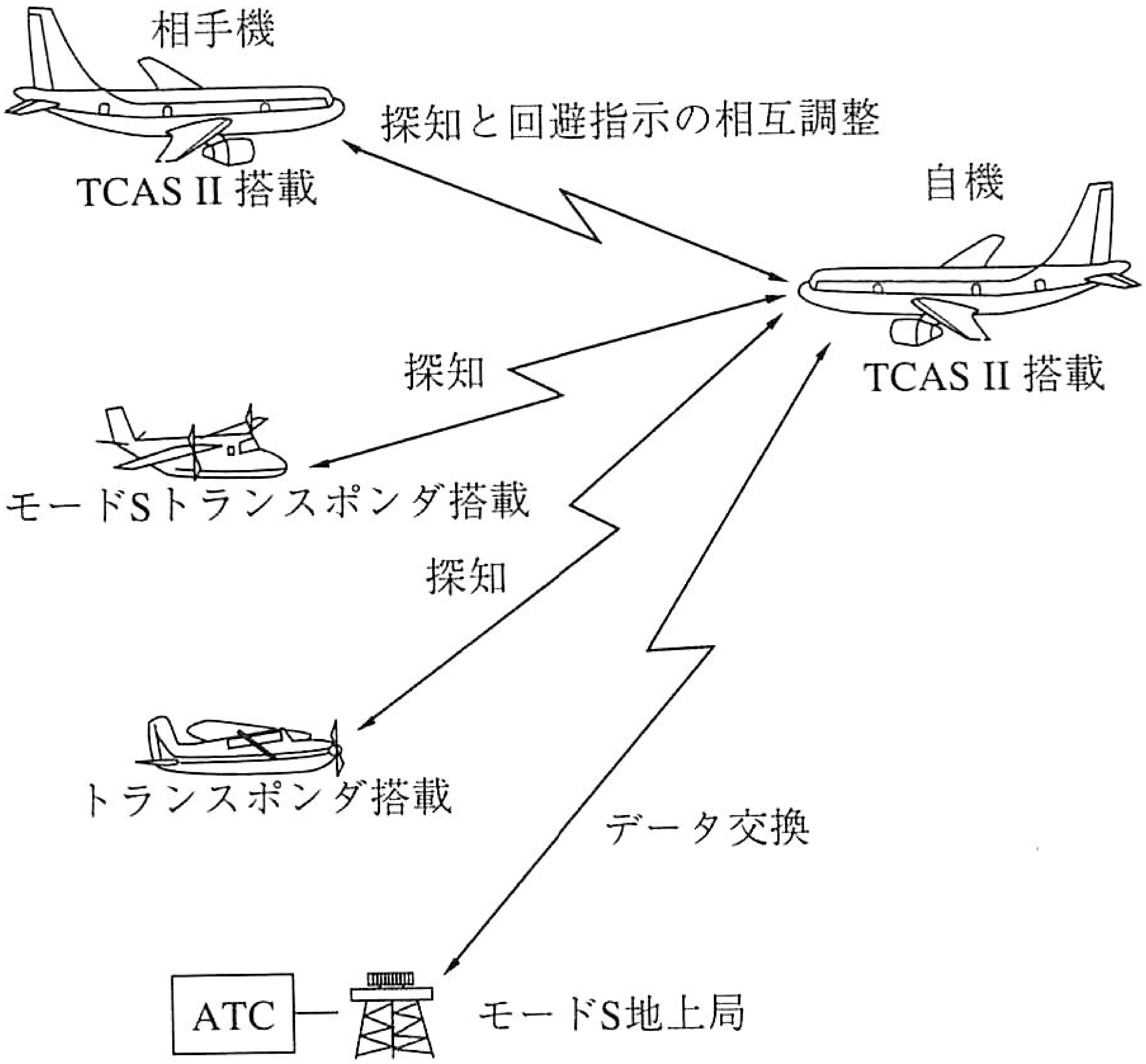
この事故の調査報告は、この管制官がパイパー機のターゲットを観測しなかったのは、決められた優先度と手順を守ろうとしたためかもしれないといっている。米国のATCでは計器飛

行方式（ＩＦＲ）で飛んでいる飛行機を優先し、有視界飛行方式（ＶＦＲ）で飛んでいる飛行機に対する交通情報サービスの仕事は、「ワークロードが許せば、また優先的な業務が妨げられない」という条件で行われる。

ＩＦＲ機は常に管制官のクリアランス（許可）を受けて飛行しており、管制官によって他のＩＦＲ機からの間隔が確保されている。衝突予防の責任は管制官が負っているのである。これに対し、ＶＦＲ機はパイロットが自分の責任で目視によって他の航空機や障害物からの間隔を確保しなければならない。いうなれば、管制については二つの不平等な階級、ＩＦＲ機とその他おおぜい、がある。その他おおぜいでも、とくに混雑する空域に進入するときにはＡＴＣの許可を受けなければならない（この空域をターミナル管制空域ＴＣＡという）。

管制官は、このＶＦＲ機に対して交通情報の提供、レーダー誘導、及び進入順位、待機などについての助言を行う。パイパー機のパイロットは、知らずにこのＴＣＡ空域に侵入した。この地域に慣れていなかったらしい。もし慣れていたら、ディズニーランドなどの目立った地上物標があるから間違うことはなかった。だから管制の許可を受けなかった。管制官にしてみれば、このようなターゲットはレーダー上にはあっても、全く注意を引かなかったのであろう。

事故原因を調査したＮＴＳＢは、責任を管制官やパイロットに負わせる前に、もっと広い見地から考え直さねばならない。すなわち、管制システムのハード、ソフト両面から改善し、Ｔ




IV－9　ＴＣＡＳ（衝突防止装置）の機能

ＣＡＳ（衝突防止装置）の開発を促進しなければならない。当面、衝突防止のためには、コックピットの外界監視、ＡＴＣ交信の傍受、ＡＴＣへの積極的な問い合わせ、などで対処しなければならない、と結論した。

少なくともメキシコ航空のＤＣ九型機がＴＣＡＳを積んでいれば、このような危険は避けられたかもしれない（図IV―9）。米国議会はこの事故の翌年の一九八七年に、第二世代の衝突防止装置ＴＣＡＳIIを米空域で運航する三〇席以上の旅客機の半数に、また一九九三年末までには全部に、装備

することを可決した。このTCASⅡを搭載すれば、他機が二八キロ以内に近づくと音声で「トラフィック、トラフィック」と教えてくれる。それが衝突の危険があるコースを飛んでいれば、レーダ画面上のその機の形と色が変わり、衝突を避けるための垂直回避の仕方（飛行高度を変える）が音声で指示される。

その指示は「上昇」、「降下」および「そのままの速度維持」の三つである。第三世代のTCASⅢになると、水平回避もできるようになる。FAAがTCASⅡの運用性能を評価したところ、むやみと警報を出しすぎる欠点があり、それを減らすようソフトを調整する必要があることがわかった。ボーイング社はこれが解決するまで、それ以上TCASの搭載をやめるよう勧告したが、パイロットの作業グループはこれを拒否した。TCASⅡにも、まだ改良の余地がある。

しかし、この装置も正しく使われないと何の功徳もない。一九九一年の七月にノースカロライナ州でUSエアのDC九型機とコンチネンタル航空のB七二七型機がニアミスした。DC九型機のTCASはベンデックス社製の装置で、六ポジションのロータリ・スイッチで作動モードを切り替えるようになっており、その六番目がTCASの完全作動になっていた。

パイロットはそのスイッチを十分回さなかったらしく、TCASは切れていた疑いがある。B七二七型機のほうはまだTCASを装備していなかったが、搭載していたモードCトランス

ポンダがDC九型機からの質問電波を受けていれば衝突の危険が察知できたはずである。両機は高度約一万メートルで、交差するルート上をとんでいたが、約二・五キロに接近した。

また一九九二年八月にも、USエアのB七六七型機とDC九型機が米国のバージニア州リッチモンド付近で、あわや衝突というハプニングがあった。B七六七型機は高度八五〇〇メートルを北東に、DC九型機はそれより低いところを二四〇〇メートルの高度間隔を保って飛んでいた。両機が約一〇キロに接近したときB七六七型機のTCASはTA（トラフィック・アドバイサリ、「トラフィック、トラフィック」と音声警報を発して、そのままの経路を飛び続けていると衝突のおそれがあることを知らせる）を出した。それと同時に、TCASのデスプレイ画面に高度差が「08（八〇〇フィート）」と表示されたが、パイロットはそれを「0」（高度差ゼロ）と見間違えたらしい。

急いで目で相手機を探しはじめ、DC九型機を見つけた。それは同じ高度を飛んでいるように思われた。約一二秒後、今度はRA（レゾリューション・アドバイサリ、すなわち衝突のおそれがあり、上昇、降下、あるいは現在の垂直速度を維持するかの三つのうちどれをとるかの勧告）が出た。このときのRAは何だったのかパイロットは記憶していないが、正しいRAは「降下するな」だったはずである。ところが、パイロットは相手機が同じ高度と思い違いしていたから、降下し旋回することを選んだ。そのため、はじめは二四〇〇メートルあった垂直間隔

はなくなり、一時は約一キロメートル以内に接近した。

似たようなインシデントは日本でも起きている。たとえば、一九九三年四月二二日に、日本エアシステムMD八一型機が、管制を受けず有視界飛行をしていた米軍機とニアミスを起こした。この場合は、TCASが作動したため、MD八一型機は降下しながら左旋回して回避した。そのため、大事には至らなかった。このような軍用機と民間機との衝突は外国でも起こっている。

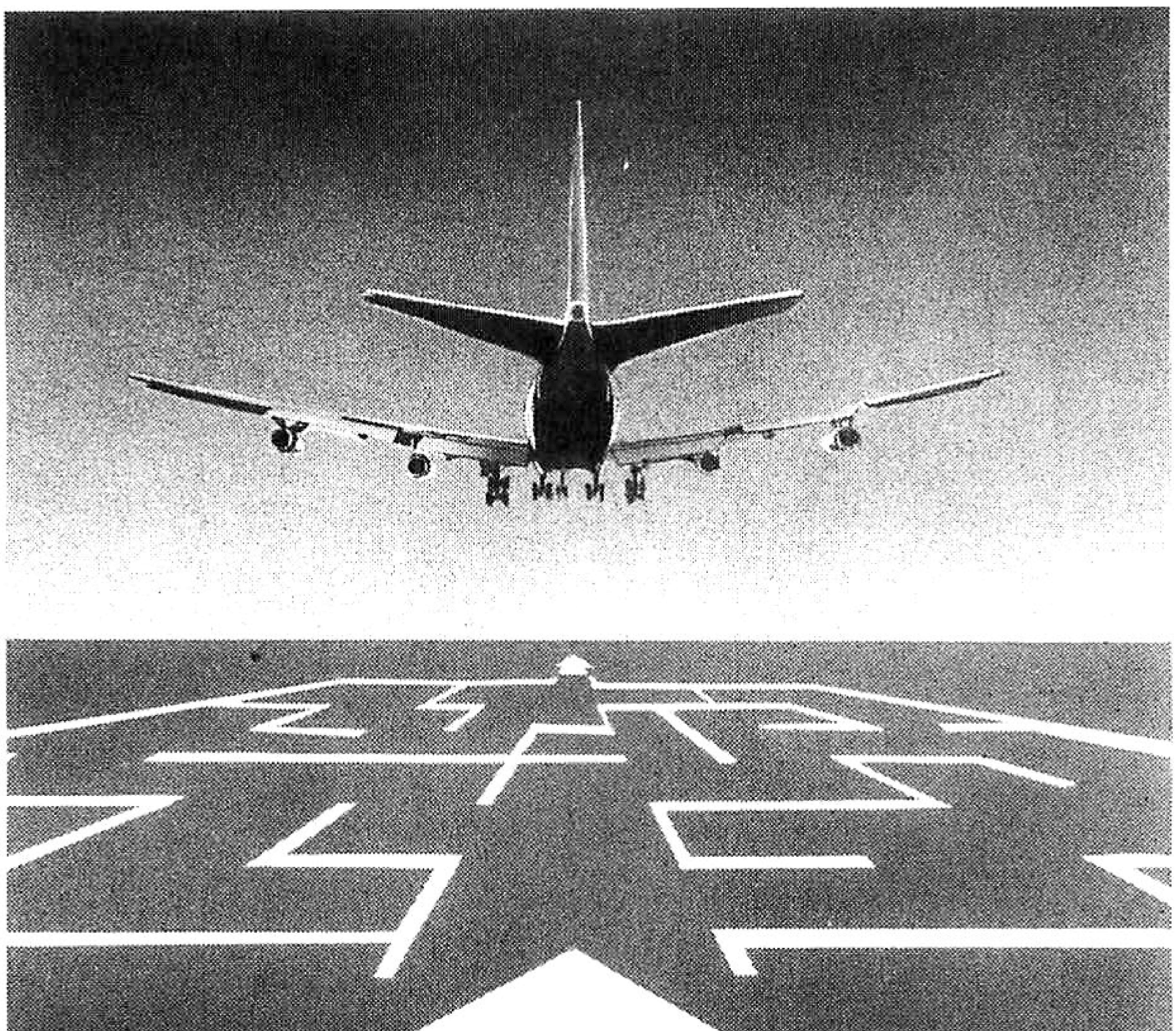
空中衝突防止は、これまで地上の航空交通管制機関が果たしてきた重要な任務であるが、TCASはこれを飛行機相互間で防止しようとするものである。TCASが発するアドバイサリ(勧告)には、パイロットは危険防止の立場から高い優先度で従うことになる。また、そうしなければこの機器を搭載した意味がない。TCASの使用が一般化するにつれ、当然、これまでなかったATCとTCASの間で摩擦が起きてきた。

なぜなら、TCASの作動によって起こされる事態を、地上の管制官は把握できない。衝突という最も重要なときに、管制官は意思決定ループの外に置かれる結果となる。今後、航空界はこのジレンマの解決にも迫られるであろう。

最近出てきたハイテク機には、TCAS以外にも、さまざまの保安装置が備えられていて、実際、運航の安全に役立っている。しかし、この例でみるように、それらの機器の利用目的が

十分果たされるためには、パイロットや管制官、機器メーカーなど、その問題に関係する人々の間の権限や利害関係の調整が必要になる。これらの装置が活きるか活きないかは、結局、人の問題なのである。

# V　機械と人間
## —自動化—



## ハイテク機の登場

これまで飛行機は、人間によって操縦されなければ複雑で困難な環境の中で飛ぶことができなかった。とくに、空港付近で起こる複雑な状況の下では、DC九型機のような古い技術で作られた機体でも、熟練したパイロットの手にかかると、最新技術を駆使したハイテク機よりもむしろ優れたパフォーマンスを示すのである。

しかし、全天候性や経済性を追求していく過程で人間の能力の限界が出てくる。濃い霧や強風の中で離着陸を完璧に行うだけの動物的能力を人間は備えていない。いや、動物が墜落しないのは悪天候下などの危険状態では行動しないからである。しかし、航空機の設計者はこの動物の能力を超えた飛行に挑戦している。この積極性はどこからきたものだろうか。

民間ジェット機は、前大戦で発展した軍事航空技術の転用である。軍用機の設計では技術優位が勝敗を決める。軍用機設計の伝統とは無縁ではない民間航空機の設計者は、技術の高度化に極めて積極的である。そのうえ、民間航空には公共交通機関として定時制と経済性が要求される。技術を高度化してこの要求に応えようとする傾向が生ずるのは必然である。

アビオニックス（航空電子工学）は、まさに格好の手段として登場してきた。コンピュータを駆使し、機械式の指示計器の代わりにＣＲＴ（ブラウン管）画像を使っているために、グラス・コックピットとよばれる新しい電子式自動操縦システムが、①パイロットの仕事量を軽減

し、②航空交通管制能力を補強することによってヒューマン・エラーを除去し、③最適な飛行条件を実現して燃料コストを節減し、④航法精度を向上させ、⑤表示方式を多様で柔軟な（融通性のある）ものにし、⑥コックピット・スペースの経済性を図る、といった数々の利点がうたわれて導入された。とくに、事故原因の中で、まだ大きな割合を占めるパイロット・ミス防止の決め手とさえ考えられた。

## 自動化でワーク・ロードは減ったか

果たして、自動化によってパイロット・ミスは減ったであろうか。もう一度、七八ページの図II－6を見てほしい。この図中の表(b)は、自動化が進んだ一九八〇年代の原因別の全損事故の比率である。

これをみると、ソフトウェア関連（パイロットが関係したもの）が七二・五パーセントを占めてい

| 事故要因 | % |
|---|---|
| ヒューマン・ファクター（乗員） | 76 |
| 技術的原因（機械） | 11 |
| 環境(気象，地形，空港，ATC，航行援助施設，情報，支援，客室乗務員) | 13 |

V－1　全損事故要因(1959～1987年，全損事故370件)
(ルフトハンザ航空ハイノ・シーザー機長による)

る。これを図V—1に示したジェット化の全期間である一九五九年以降の原因別事故比率と比べてみよう。乗務員（ヒューマン・ファクター）が原因の事故の割合は七六パーセントで、図II—6の七二・五パーセントとほとんど変わっていない。

このことから、進んだアビオニックス技術を取り入れたハイテク機でも、パイロット・ミスが、依然として多いことがわかる。それはどうしてだろうか。

自動化コックピットでは、かえってワーク・ロードが増え、乗員の能力の限界を超えたのではないかという疑問が起こった。この疑問は、とくに二人乗務の場合、いまだに議論の多い問題である。

このことに関して、マイアミ大学のウィーナー教授がNASAの委託で一九九一年に行った調査では、シミュレータを使って、従来型DC九—三〇型機と自動化されたMD八八型機（二人乗務）のワーク・ロードを比較している。MD八八は一七二人乗りで大きくはないが、MD八〇のファミリーの中では最も高度な電子飛行操縦装置を装備している。

このMD八八型機で、アトランタのハーツフィールド空港からコロンビアのメトロポリタン空港までの区間を飛んだ場合、コロンビアで天気が悪くなり、進入復行して待機している最中に機械にトラブルが発生したとき、及び、代替空港へ行先変更すると決めたときに困難が起こった。

ＭＤ八八型機とＤＣ九型機のパイロットは、ほぼ同数のエラーをした。自己評価では、むしろハイテク機のＭＤ八八型機の乗員のほうが高いワーク・ロードを報告している。ＮＡＳＡからのオブザーバーとＬＯＦＴ(路線指向型飛行訓練)の教官は、ＭＤ八八型機の乗員よりも従来型のＤＣ九型機の乗員に高い評点を与えた（しかし、ＤＣ九型機の乗員の同機種での飛行経歴はＭＤ八八型機の乗員の三倍であったから、この結果は割引して考える必要がある）。すくなくとも、一九六〇年代中頃の技術の産物であるＤＣ九型機の乗員が、はるかに高度の、しかも高価なハイテク機を飛ばす乗員と同じくらいうまくやったということができる。しかし、教授自身が語っているように「自動化がより重大なエラーを引き起こす、というわれわれの仮説を支持する証拠は得られなかった」から、ハイテク機に対しても否定的な結果ではない。

この調査は実験室内で行われたもので、実地運航には当てはまらないという批判がある。これに対して、ブリタニア航空では、一九八四年からＢ七六七型機の日常運航におけるワーク・ロードをＢ七三七—二〇〇型機（二人乗務）と比較している。この実地調査はＮＡＳＡの調査と較べると規模は小さいが、データは離着陸などのワーク・ロードの高い飛行フェーズで収集され、血圧や心拍数などの生理学的測定も行われた点で貴重である。

その結果は、概していえば、ハイテク機のＢ七六七型機のほうが従来技術のＢ七三七型機よ

りもワーク・ロードが低かった。また、パイロットの意見を聴取した結果、七三七から七六七に移行した当座は、ワーク・ロードが七三七より高く感じたが、半年程経つとワーク・ロードは前に七三七で経験したよりも明らかに低いことが判明した。

この結果は、前に述べたNASA/マイアミ大の調査結果とは幾分異なっている。この違いは評価法の違いによるほか、今は過渡期であるという事情も影響しているであろう。たとえば、ブリタニア航空の医学顧問ロスコー博士はNASA/マイアミ大の研究の中で行ったアンケート調査の結果の中に、パイロットの二つの異なる性格が現れた点に注目している。この中には、「自動化では、モニターすべきことが多くなるから、ワーク・ロードの総量は減らない」という設問がある。(これは誘導的であるとの批判があるが、それはさておき)集計されたデータによると、パイロットのほぼ半数が質問に同意し、残りの半数が不同意であった。

この結果は、パイロットには性格あるいは生来の能力の点で異なる二つのグループがあることを暗示している、と博士は考える。この数年間にパイロットの性格が変化したことを、NASAの調査に参加した何人かのベテラン・オブザーバーも認めている。このように、既成のパイロットの中からも、新しいコックピットに適応した人々が現れている。今後、適切な選別と訓練によってそのようなパイロットの数は増えていくと期待してよいのではないだろうか。

とにかく、いまのところ、ハイテク機でワーク・ロードが増えたとは結論できない。それで

は、自動化によって新たにどんな問題が起こってきたのであろうか。それを検証してみよう。

## 不可解なシステム

ハイテク機では、操縦の自動化・機械化によって、従来パイロットが四肢によって行ってきた操縦桿、舵輪、ペダル、レバーの操作を、電子回路内の信号の伝送と、遠く離れた駆動端の動きに置き換えた。このシステムの作動状況がパイロットにわかり難いことが問題である。初期の、それほど高度に自動化されていない機種でも、このシステム状況認識の欠如が原因で異常運航が起こっている。次に挙げるのは、よく引用される例である。

一九八五年二月のある日、中華航空のB七四七型機がロサンゼルスに向かってサンフランシスコの北西五〇〇キロを飛んでいた。右翼側の第四エンジンが故障したため、機の速度が次第に落ちてきた。この機は自動操縦で飛んでいたが、一エンジンが故障したときの針路を維持して飛ぶ操縦は、人間がやるのと同じことを機械がやっているだけである。自動化したからといって、機が本来もっている性能以上のことができるわけではない。

エンジンが一つ故障すると左右のエンジンの推力がアンバランスになるから、機首は故障した側に向きを変えようとする。これをラダーを使って正しい方向に戻すのだが、そのとき機体の横ずれ（横すべり）を抑えるために作動エンジン側の翼が多少下がるようにバンクする。ま

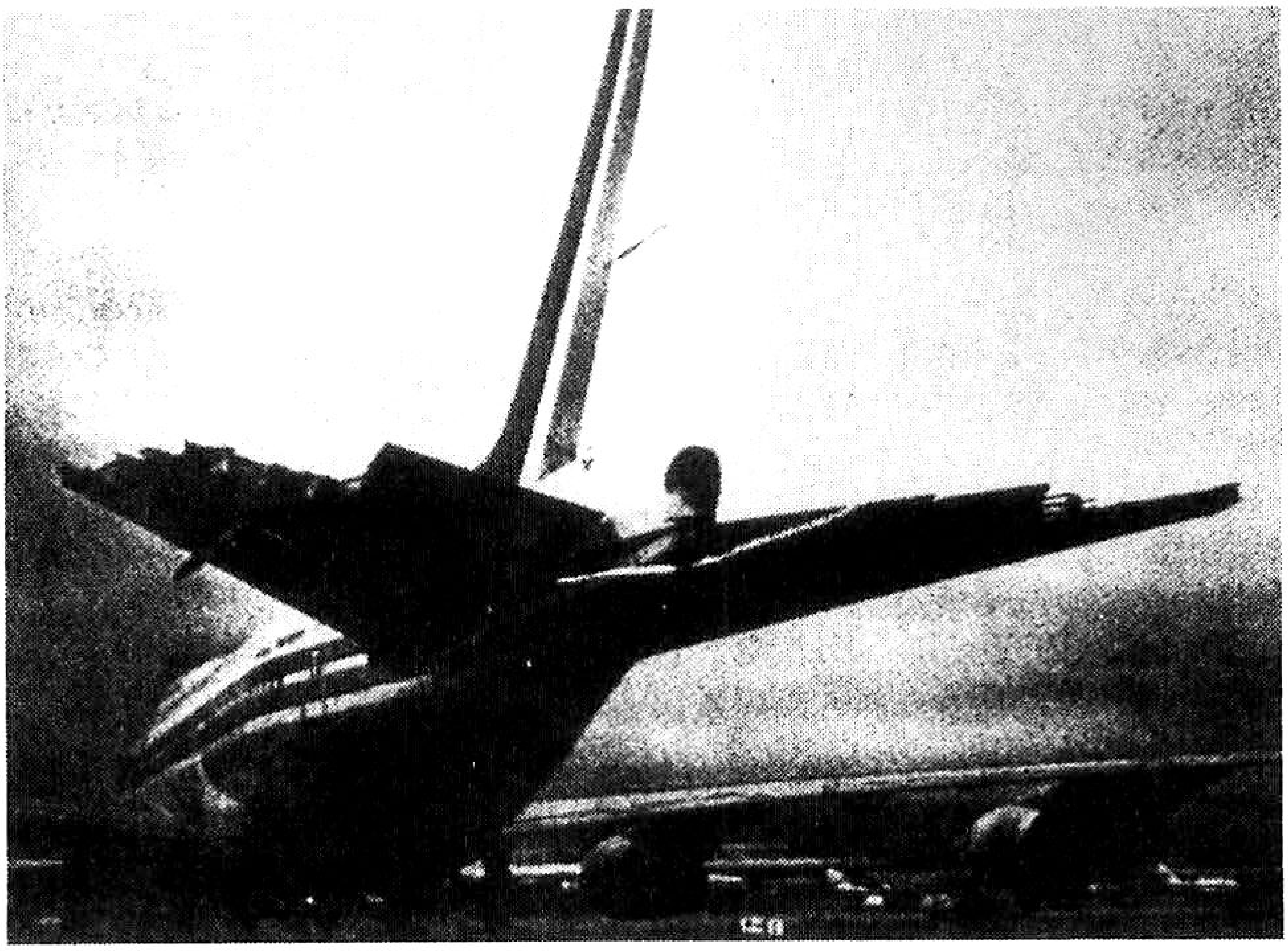
た、推力のアンバランスが大きいと機首は完全に飛行方向に向けることができず、故障したエンジン側に多少偏っているかもしれない。

つまり、機体はピッチとロールとヨーをとった姿勢で飛んだ。この姿勢では気流は機体の斜め下から当たるから、正しく飛んでいるときよりは空気抵抗はかなり大きい。速度が落ちたのはそのためである。

そのまま自動操縦で飛んでいると、速度は落ちる一方で失速の危険がある。そこで機長は、降下して速度を上げようとして、ピッチ自動操縦装置のスイッチを切って、手動で機首下げ操舵を行った。機は降下をはじめたが、速度は思うようには増さない。機長はバンクとヨーの自動操縦も解除して、完全に手動で機をコントロールしようとした。

ところが、それまで機械力で操舵されていたラダーとエルロンが人力操縦に切り替わったので、機体はバランスを失い右に横転(ロール)すると同時に、機首が下がって、ピッチ角はマイナス六九度になり、機首がほとんど下向きになってしまった。一万二〇〇〇メートルから三四〇〇メートルまで落ちるあいだに機体はロール方向にほとんど一回転した。パイロットはどっちが上か下かの感覚を失っていたが(空間識失調)、雲の下に出て周囲が見えたため機体姿勢を立て直すことができ、高度二九〇〇メートルで水平飛行に回復した。

第II章で述べたノースウェスト機のときと同様、急降下中の無理な操舵のため、尾翼の先端



V－2　急降下して壊れた尾翼

部とエレベータは無残に壊れていた（図V―2）。乗客に負傷者が出たが、幸い死者はなかった。

この異常運航は、エンジンの不調からはじまったが、エンジンが一基止まった場合でも、安定な飛行を続けるだけの性能は保証されているから、それが主な原因とはいえない。パイロットが自動操縦システムから操縦を引き継ぐとき、そのシステムが現在どういう操作をしているかを知っていて、操舵に不連続が生じないように注意しなければならなかった。

しかし、自動化が進むとパイロットは直接操舵することがなくなり、どうしても制御ループから外されてしまうため、システム状態を認識する能力が低下するのは避けられな

い。この傾向は、自動化システムと人間の間の意思疎通をはかる役目をするインターフェイスが十分機能していないと、なお一層強くなる。

自動化されたコックピットの中には、人間パイロットの他に操縦ロボットが座っていて、操縦の大部分はこのロボットがやっている。その頭脳はコンピュータで、手足は機体各所にある油圧あるいは電気式アクチュエータ（駆動装置）である。以前は人間の動作として見えていた操縦操作が、電子回路内の信号の流れと自動化機械の動きに取って代わった。

ロボットが何をしているかが分かるためには、パイロットはロボットと上手にコミュニケーションしなければならない。機械とコミュニケーションをするためには、パイロットはコンピュータにデータを打ち込んだり、CRT画面の上の数字や記号を解読しなければならないが、これが、ときにうまくいかなくなるのだ。

だいたい人間は、文法的に完璧な言葉で会話しなくても、結構分かり合える。ところが、このロボットは融通がきかないうえに、未熟なパイロットは受けつけない。また、パイロットの方もその扱いに慣れていない。これまでも、パイロットとマシンのインターフェイスを改善するための努力がなされてきた。旧型機ではパイロットの目の前には無数のメータ類が所狭しと並べられていた。

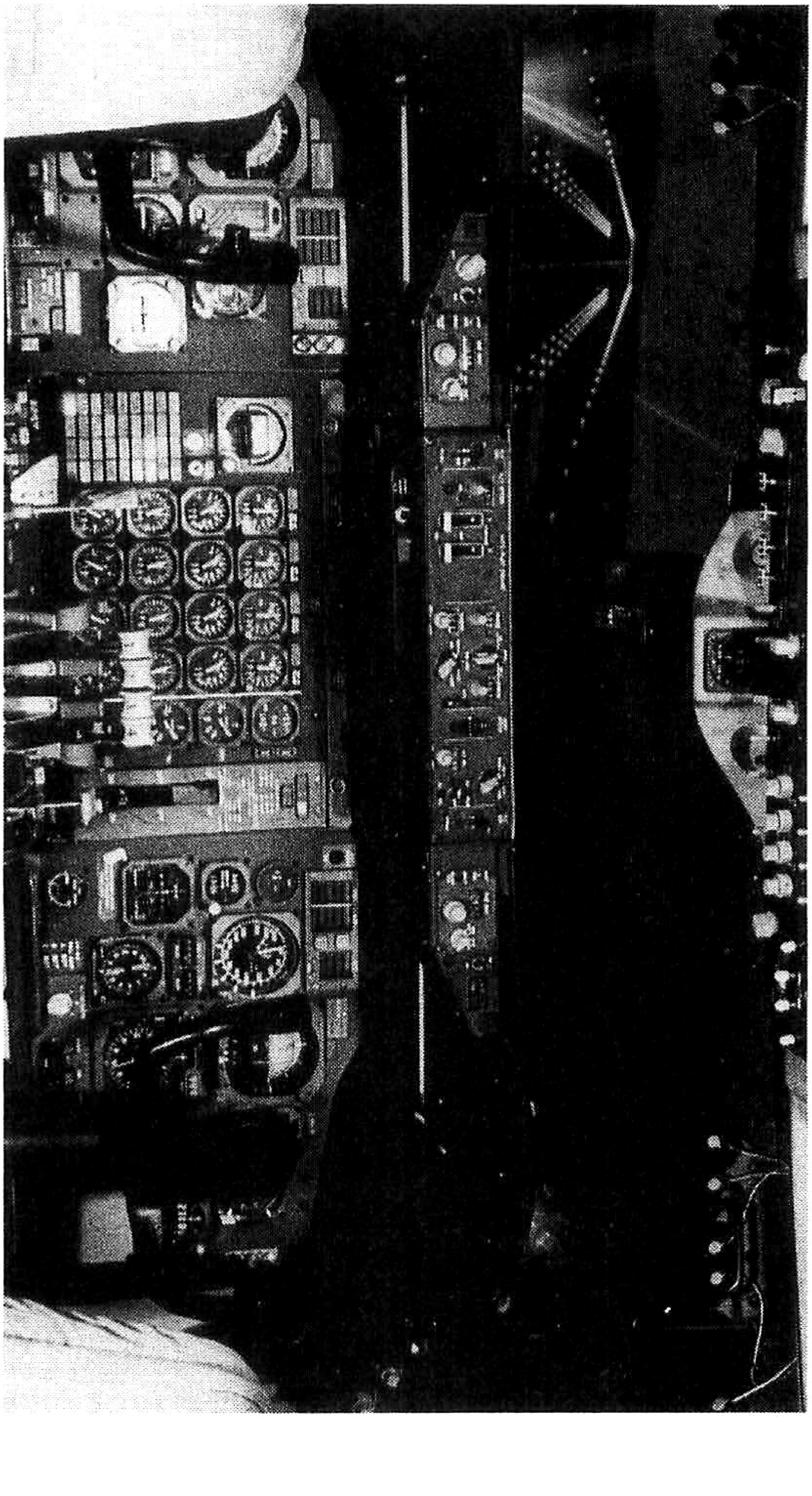
しかし、最新の、いわゆるグラス・コックピットでは、計器から得られたデータはテレビ画

面に図形や数字の形で見やすくレイアウトされている。常時監視する必要のない計器の表示は、パイロットが呼び出さないと画面に現れない。図V―3に旧型機の例としてB七四七―二〇〇型機のコックピットと、グラス・コックピットの例としてB七六七―三〇〇型機の写真を出したので比較してほしい。

ところが、表示法だけ改善すればよいといったものではない。ある航空雑誌に次のような記事が載っていた。B七六七型機に搭載されているハネウェル社の飛行管理システムでは、北緯四二度を入力するときは「N42deg」とキーを叩かなければならないが、例えばトランスワールド航空の飛行計画書では「42N」とタイプされている。入力の間違いが起こるのは当り前のような気がする。また、スラッシュ（／）とするかダッシュ（―）とするか、スペースを入れるか入れないかを間違えても、コンピュータは受けつけない。

この「こつ」を覚えるのに新人は苦労し、時間がかかる。カリフォルニア州のオンタリオ空港からロサンゼルス空港までは一五分しかかからないが、コンピュータ操作の仕事量は国際線並みである。

あるB七六七型機の新人パイロットがこの区間を飛んだとき、管制からある航空路を横切ることを要求された。このような場合は他機との衝突を避けるためには指示されたコースと高度を飛ばなくてはならない。このパイロットはコンピュータを相手に格闘したがうまくいかず、



旧型機（B747-200型機）



新型機（B767-300型機）

V－3　新旧のコックピット

あきらめたときはその航空路を通り過ぎて大分たったあとだった。トラブルは、このように管制の指示がにわかに変更されたときに起こりやすい。

コンピュータで数値の入力を間違えて悲惨な結果を迎えた例は、一九八三年に起こった大韓航空機の事故である。この飛行機は北太平洋路線を飛んだとき、自動航法システムのＩＮＳ（慣性航法装置）の入力を間違えて、ルートを外れカムチャツカ上空に進入したため、旧ソ連軍のスホーイ一五型戦闘機に撃墜された。


朝日新聞　夕刊

269人乗り大韓航空機

サハリン付近で不明

ソ連が着陸を強制？

邦人27人安否確認できず

撃墜説や乗っ取り説も

横断後、航跡絶つ

「サハリンにいない」ソ連回答

1983年９月１日　朝日新聞夕刊より

ハイテク機Ｂ七六七型機のパイロットが、最初の一〇〇時間に最も頻繁にもつ疑問は、自動操縦システムが今、何をやっているのか、ということだ。この飛行機の特殊性に慣れたあとでも、自動化システムがいま、何故そのことをやっているのかは、パイロットにとって必ずしも

明解ではない。たとえば、あるフィックス（航路上の特定地点）を、ある速度と高度で通過するようにコンピュータをプログラムしたとしよう。パイロットはコンピュータが与えられた仕事をそのフィックスに着くまでにやってくれるかどうか心配だという。「コンピュータがそれをするつもりか、しないつもりか確信がもてたことは一度もない」と、あるパイロットは語っている。

コンピュータの心を測りかねているのはパイロットだけではない。地上の整備員も同じだ。最新式の自動操縦システムを備えたB七四七—四〇〇型機が一九九〇年に不可解なことをやった。エンジンの逆噴射装置が故障すると、離陸中に展開しておかなければならないフラップが全部引っ込んでしまうのである。エンジン逆噴射は、着陸したとき早く減速し滑走距離を短くするために行う。滑走路が滑りやすくて車輪のブレーキがよく効かないときは、これは大事な役目をする。フラップは翼の揚力を高めるために、後縁から後方に張り出す下げ翼である。まったく無関係の働きをするこの二つの装置が、なぜ一緒に故障してしまうのか、誰にも理解できないことだ。

B七四七—四〇〇型機は離着陸のとき以外は、コンピュータが自動操縦する。その自動化システムの機能は主なものだけでも、次に挙げるように多数ある。

①機体のピッチとロールをコントロールする。
②操縦に必要な機体姿勢の情報をジャイロの出力信号から計算し、速度をピトー・静圧系統の信号から計算する。
③機体の安定を保つためには、マッハ数が高くなったとき空気の圧縮性の影響で機首が下ってくるタックアンダーという現象を防ぐため水平尾翼の角度を自動コントロールする。また、横揺れ、偏揺れ、および横滑りの三つの運動が連成したダッチロールという複雑で不安定になりやすい振動を抑えるために方向舵を自動制御する。
④慣性航法装置（INS）などの自動航法装置を使って、航法保安無線施設のない大洋の上でも自動的に飛行を誘導制御する。
⑤エンジン管理システムによって、きめ細かい推力の設定と維持を行う。またエンジン自己診断機能をもち、不具合箇所、対応策、その緊急性などを具体的に指示する。

この機能を果たすためには、膨大な信号処理と計算が必要になる。そのためB七四七－四〇〇の操縦席の斜め下に黒っぽい箱が八〇個も並び、その中には二〇〇〇枚にも及ぶプリント盤が納められている。コックピットから機体各部にある舵面などの可動部に操縦信号を伝えるため、電線が張り巡らされているが、その長さを合計すると二〇キロにもなる。コンピュータが

行う自己診断の項目は六〇〇〇項目もあり、飛行中異常が発見されると地上の整備本部に送信される。地上整備のときもこの自己診断機能が活かされる。問題は、異常が知らされた場合、綿密なテストをしても六割はすぐにはその原因が分からないことである。

コンピュータの中身は企業秘密で、それこそブラック・ボックス（黒い箱）になっていて、ユーザーがその機能を確かめることはできない。この箱のなかには企業が長年蓄積した膨大なノウハウが収められているからである。前述のフラップの誤作動の場合も、逆噴射装置の異常信号がプリント盤をつなぐ無数の配線の中で迷子になり、フラップ作動信号回路の中に紛れ込んだのである。コンピュータを動かすソフトウェアも、所詮人間が作ったものである。製作時は見つからずにそこに潜んでいるバグ（虫）が、運用を開始した後、しばらく経つと出てきて、悪さをする。したがって、今後のハイテク機の最大の課題は、ブラックボックス化したソフトウェアの信頼性をいかにして維持していくかである。また、ブラックボックスのなかで進行している過程が外からも見えるようにすることも必要で、そのためにはパイロットとのインターフェイスの改善が課題になる。

## 頼り過ぎ

しかし、このような問題はあるにしても、飛行管理コンピュータと三重航法センサー（ジャ

イロなど）を組合せた自動操縦システムは、信頼性の高い航法システムである。「航空交通管制からの制約がなければ自動飛行は素晴らしい」とある機長は語っている。たしかに、高度化した自動システムは人間の能力を超えた働きをしているのである。

だから、パイロットがそれを頼りにするのは自然の成行きといえる。その結果はどうなるか。これはオーストラリア出身のある機長がヨーロッパで働いていたときの経験談である。

ある空港に近づいたとき、副操縦士に有視界飛行で着陸するよう命令した。副操縦士は丁寧にそれを断わり、計器飛行で着陸するほうを選んだ。運悪く副操縦士はコンピュータ入力を間違えて、地上からのレーダー誘導電波に乗り損ね、後方の丘に向かって上昇しはじめた。副操縦士は、ものもいえないほど仰天し、コンピュータの画面を凝視していたが、急に狂ったようにボタンを押しはじめた。この男に打つ手がなくなったことは明らかだった。そこで機長は手動で操縦を引継ぎ、機を誘導電波に乗せて安定させた後、操縦を副操縦士に返した。ところが、副操縦士はまたもや、自動操縦のスイッチを入れようとした。これには機長も驚き、そのまま手動で操縦することを主張した。副操縦士はしぶしぶながらそれに従った。この機長は、手動による計器飛行を含む基本操縦スキルを、オートメーションに盲目的に執着することより優先させねばならぬと信じている。

## 人間にきびしいハイテク機

A三二〇型機に代表されるハイテク機は、世界に先駆けてフライバイ・ワイヤ（電気信号によって操縦系統を動かす技術。従来のケーブルによる操縦に対比される）を使って高度の自動化をはかったものである。そのコンピュータを駆使した自動化システムには、パイロット・ミス防止の期待が寄せられたことは前に述べた。

しかし、実際には、このハイテク機でもパイロット・ミスによる事故が相次いで起きたのは、どうしたことだろう。

これについてエアバス側は、「現代のコックピットには乗員の厳格な規律とプロシジュア（運航手順）の遵守が決定的に重要である」といっている。また、世界的な飛行訓練用シミュレーターメーカーのフライト・セーフティー・インターナショナル社の飛行基準部のシュワルツ副部長も、同じような意見を持っている。彼はこういっている。「航空機工業と政府機関はオペレーションの問題の技術的解決手段の開発のほうに目が向いている。地面接近警報装置GPWSや衝突防止装置TCASではそれは正しかった。しかし、将来最も報われるのは、コックピット内の人間要素を改善することだ」

ハイテク機は、従来以上にきびしい規律と優れた資質をパイロットに要求する、ミスを許さない、人間にきびしい飛行機だ、というわけである。そのきびしい規律とは、

①個人プレイでなく集団行動
②機械的正確さ
③規則の厳守

などである。ルフトハンザ航空のシーザー機長も、新しい飛行機のパイロットの選抜訓練に関連して「協調性のある、それでいてフォロウ・ザ・リーダ症候群（指導者のいいなりになる病癖）に耐性のある、自信に満ちた人間を選抜しなければならない」といっている。

自動化された航空機で、新しいタイプのエラー（ヒューマン・エラー）が発生したことから、人間は人間―機械系の制御ループの中の弱いリンクであるといった考えが出てきた。しかし、これまでは飛行機乗りとして優れた特性を発揮していた人間が、一転して弱点になったというのは、自動化のやり方に問題があり、人間との調和がはかられていないために起こったのではないだろうか。

考えられることは、ハイテク機では、従来とは違った資質と能力が要求されるため、これまで人間の長所とされてきた能力が役に立たなくなったことである。

そのコックピットでは、操縦感覚までパイロットから取り上げるような自動化が進んでいる。パイロットは、これまではすべての制御装置を自分の意思通りに動かしていた主人の立場

から、多数のマシンの動きをモニターし、それを、自動制御装置に報告する召使いの役目に変った。

人間は、ものを考えるように出来ていて、モニターするようには出来てはいない。仕事が人の上達心や興味に訴えるものがなければ、倦怠の兆候、すなわち無関心、不注意、手順の逸脱、怠慢が誰にでも現れる。倦怠は、経営者や世間の期待、あるいは国の規則といったものとは無関係に訪れる。四〇〇人以上の客を乗せ、一〇〇億円もする飛行機を飛ばせるのだから、十分注意して飛んでくれると人は思い込んでいる。

しかし、人間は危険な状態でも長く続けば適応してそれに無関心となり、最後には極めて高いリスクまで受け容れるようになる。このような倦怠と状況認識の欠如が起こったのは、パイロットがマシンの動きのモニター役になり下がり、意思決定のループから疎外され、状況認識能力を失っているからである。そのような自動化は、人間的要素の取扱いを誤った「不器用な自動化」であると批判する声が、とくに米国で高まっている。

### 人間中心の自動化

米国のNASAを中心にした研究者たちは、システムに人間を合わせるのではなく、システムを人間中心に変えていくべきであると主張する。人間とはどんなものか。長時間の乗務では

疲労し、眠りこけることがある。この疲労と睡眠は、脳の機能保存のために生まれつき備わる自己防衛機能である。この環境の影響を受けやすい脳の特性を直視し、その優秀性を十分に発揮させるように自動化システムを設計しなければならない。

この考え方は「エラーは人間の正常な機能の一部である」という、いわばエラー許容設計の立場に立つ。われわれが意思決定をするときは、いろいろなデータを収集し整理分析して、状況を認識したあとで決断する。われわれが苦労するのはこの煩雑な準備作業にである。ここで錯覚や誤解が起こるとヒューマン・エラーが発生する可能性がある。

緊急事態に遭遇した場合、人間は冷静に的確にそれに対処するよりは、誤りを犯しやすい性質をもつと考えるのである。したがって、従来の自動化では人間が機械を監視したが、今度は逆に機械が人間を監視し支援する。そのためには、警報システムは重要な情報のみを表示し、その情報と操作の関連を明確にした支援（助言）システムとして位置づけられる。

人間的エラーを減らすためには、人間が操る機械として飛行機を作らなければならない。できることはなんでも自動化する、残った仕事を人間がする、というのは間違いだ。いま問題なのは自動化ができるかどうかではなく、自動化すべきかどうかである。いいかえれば、自動化をどう抑制するかが問題なのだ。したがって、この問題は設計者だけに任せず、パイロットや認識心理学者を含めたゼネラルな立場から検討すべき問題であるとしている。

しかし、従来も、航空技術はコックピットに人間工学研究の成果を取り入れてきたから、航空技術が人間的要素を、まったく無視してきたとはいえない。新しい設計概念は、ものの見方を機械中心から人間中心に変えたことと、パイロットを設計段階から参加させるべきだとする点に大きな意味がある。

「人間中心の自動化」の主唱者の一人であるNASAのビリングス博士は、いかに自動化が進んでも、人間を運ぶ飛行機から人間パイロットを排除できない現実がある以上、パイロットを命令系統に入れておくことが不可欠と考えている。

なぜなら、航空輸送には多くのコントロールできない変動性がある。気象、運航条件、地上の状況どれ一つとっても予測困難である。これを全部取り入れて処理し判断するソフトウェアは書くことができないし、書くことができたとしても、それを実時間で走らすことができるほど強力なコンピュータは存在しない。高度に自動化された現代の航空機といえども、現実が要求する融通性と柔軟性を保つことができるのは、それが人間によって操縦されているからである。博士がいうように、自動化システムの役割は「機長を補佐するための、従属した、高度に効率的なクルー・メンバー」なのである。

最近、航空機メーカーのあいだでも、航空機のミッション遂行を行う意思決定ループの中にパイロットを引き留める方向で自動化を進める考え方が生まれた。ボーイング七七七型機のフ

ライトデッキ設計マネージャーは「エアラインが運航にとって適当な量の自動化を使えるように設計すること、……パイロットが意思決定ループ内に留まり、その状況認識が保たれ、増強さえできるやり方で自動化することに努めている。……我々は自動化を多くの作業に使うことができる。しかし、どれだけ多くを使うかは、ある制約の範囲内で、あなたがそれを命令する」といっている。

たとえば、チェックリストにしても、システムはそれをディスプレイの画面上に正しい順序で次々に表示するが、自動的に、ひょいと画面に現れるのではなく、パイロットがそれを呼び出すのを待つ。このようにして、操縦における人間の主体性を確立することによって、状況認識能力の維持をはかろうというのである。

ロックウェル・コリンズ社の航空空輸送部のR・J・ティボー副部長は、A三二〇型機のような初期の自動化から得られた教訓をもとにして、「自動化コックピットの設計でのチャレンジの一つは、パイロットが必要なときにそれに介入し、その後、再び自動操縦に戻るのを容易にすることである」といっている。B七四七―四〇〇型機では「介入モード」を用いてこれができるという。

ボーイング社は、B七七七型機のコックピットの開発のため、人間的要素を初期のコンセプトと設計の一部として設定した。そのため七～八人の心理学に高度の能力をもつ人々を、幹部

要員として現場の草の根の技術者と一緒に働かせた。それと同時に、積極的なパイロットの作業グループを作り、B七七七型機のコックピットを評価させている。これはボーイング社によれば、「パイロットが得意なことはパイロットにさせる」ための確実な方法なのである。

## 薄れる警戒心

人間は事故がない状況が長く続き、それに慣れてしまうと、警戒心が薄れ、極端な場合、何をやっても大丈夫と思ってしまう傾向がある。自動化されたコックピットには、各種の保安警報装置が装備されており、それによって実際に安全が確保されているため、パイロットがそれを過度に信頼するようになることも、警戒心が薄れる原因になる。

医師で作家の渡辺淳一氏は、最近の小説『麻酔』で、過失で患者を死亡させた麻酔専門医の話を書いている。ある化粧品会社の幹部社員の妻が手術後に急死した。夫は死因に疑いを抱き、長い間原因追及を続けた結果、担当の麻酔医がついに過失を認めた。手術中、その麻酔医が手術室にいなかったため、麻酔薬が患者の脳を冒したのである。ベテランの医師には絶対ありえないと思われていたことが、起きたのである。ここでこの小説から多少の引用を許していただこう。

「でも起きたのですね」
「起きたのです」鸚鵡（おうむ）返しに医師が答える。
「なぜ、そんなことが……」なおも高伸が問い詰めると、野中医師がぽつりとつぶやく。
「きちんと、守らなかったからです。……麻酔医は、麻酔をかけている患者の側から離れてはいけない。……それは麻酔医のイロハで、誰でも知っている初歩のことです。それを忘れていました。いや、忘れていたわけではない。そんなことはよく知っていたのです。知りすぎていたから、守らなかったのです。……大丈夫と思ったからです。いままで一度も事故がなかったから、大丈夫と信じ込んでいたのです」野中医師はそこで自嘲するように、かすかに笑った。「要するに、慣れすぎていたのです。もう何度もやって、安心しきっていました。……それだけのことです」野中医師は切り捨てるようにいうと、冬日のなかで身を竦めた。

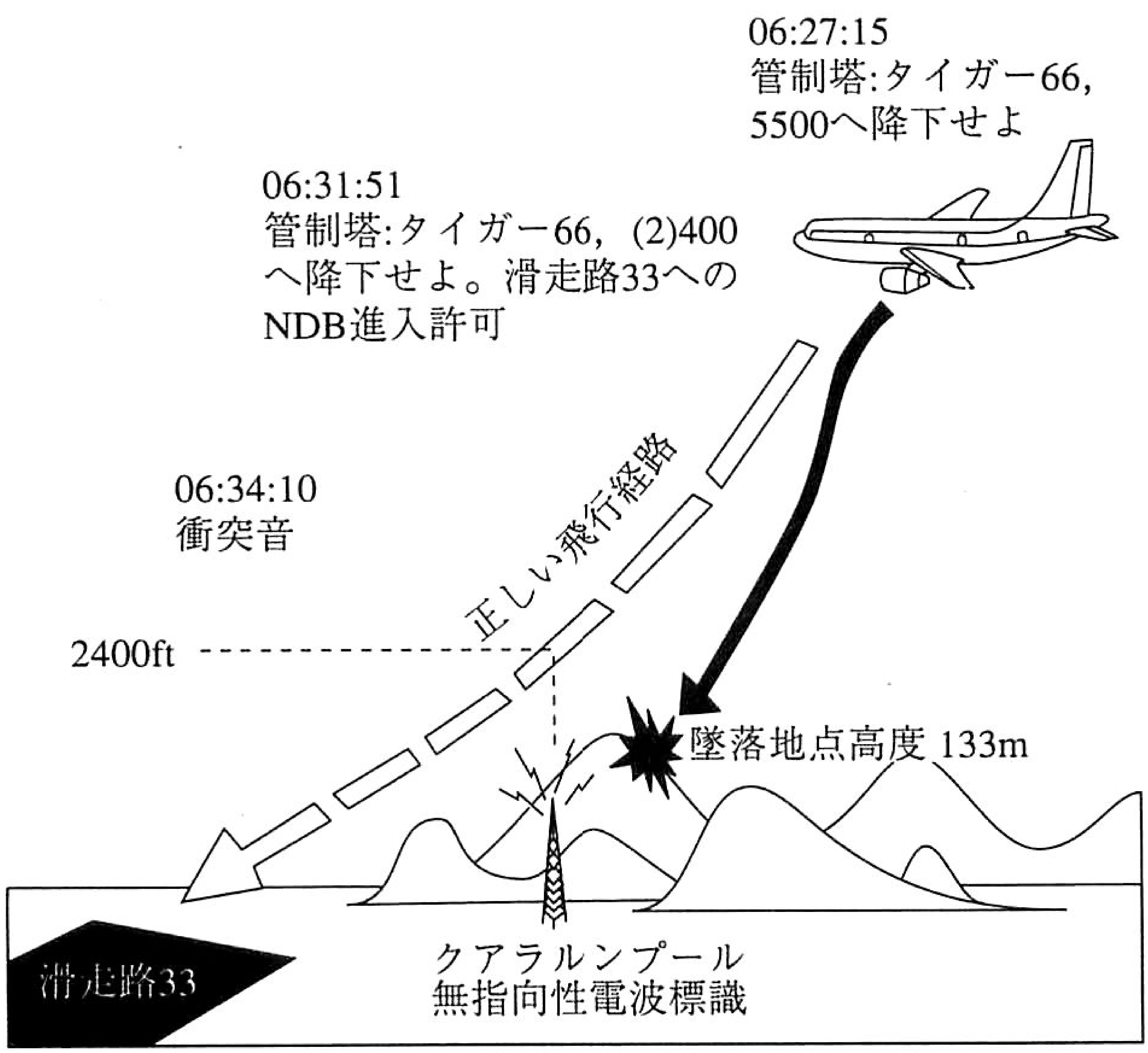
ここで問題になる心理状態のことを認知心理学ではcomplacencyという。「自己満足」とも訳すが、多少言葉足らずである。危険に気がつかず安心し切って、いい気になった状態、ということである。航空でも最近よく使われる言葉である。
一九八九年二月一八日にマレーシアのクアラルンプールで起きた事故も、警戒心が働いたの

かどうかが疑われている例である。このフライングタイガー航空六六便のB七四七―二四九F型貨物機は、シンガポールからクアラルンプールに向け飛んだが、滑走路手前約二キロの丘に衝突した。この事故を調べてみると、いくつかのミスが重なって起こっていることが分かった。

当時、クアラルンプール空港では大規模工事が進められている最中で、その日は二本ある滑走路のうち滑走路三三では計器着陸システム（ＩＬＳ）が休止中で、着陸誘導の電波を出していなかった。だから、このことは事前に航空情報（ＮＯＴＡＭ）でこの機のパイロットに伝えられていた。また、空港に進入する前にも、管制塔は機上に滑走路三三のＩＬＳが使えないことを伝え、ＩＬＳが希望なら滑走路一五が使えると助言したが、パイロットはこれを聞き流した。

現地人の管制官の高度指示の用語も標準的ではなかったせいもあってか、パイロットはタワーからの高度指示を聞き違えて、誤った数値を復唱したが、管制官はそれを訂正しなかった。地上から電波による支援がない状態で着陸するときは、高度の確認がなにより重要であるのに、それが十分に行われなかった。

高度指示を聞き違えたため、早めに降下してしまった。地面に衝突する一七秒前と八秒前に地面が接近したことを警報するＧＰＷＳ（Ground Proximity Warning System）が鳴った。この警報は音声で「フープ、フープ、プルアップ（おっと、引き起こせ）」と二回繰り返し、




V－4　フライングタイガーB747型貨物機の地面衝突

八秒前には六回も繰り返した。この時点で正しく回避操作を行っていれば、地面との衝突は避けられた。しかし、パイロットはそれになんの反応もしていない。不思議なことだらけで、結局、この機は空港から約二キロ手前にある丘に衝突してしまった。事故の経過は解明されたが、なぜこのようなことが起こったかは、分からずじまいになった（図V－4）。

このような事故を「制御された地面への飛行」と呼び、パイロットが「状況認識を欠いた」ためと説明されている。

ここに出てきた地面接近警報装

置GPWSは、一九七〇年代の中ごろパイロットが不注意で、高度を下げ過ぎ、地面に激突する事故が相次いだため必要性が認識され、米国では一九七五年末までに装備が義務づけられた。わが国でも日航機がクアラルンプールで地面に激突した事故が契機となって、一九七七年から装備が義務づけられている。これは、電波高度計、気圧高度計で計った高度データをもとに、そのとき着陸装置が出ているか、フラップが下りているかなど、着陸形態になっているかどうかを判断し、危険状態なら警報を発する装置である。

降下率が大きすぎるときは「シンク・レート（降下率）」、地面が近すぎるときは「テレイン、テレイン（地面、地面）」の警報音がでた後、いよいよ危なくなると「フープ、フープ、プルアップ」という音声指示が発せられる。これが装備された直後は、それまで年間六件も起きていた地面へ突込む事故がぱったりとなくなった。

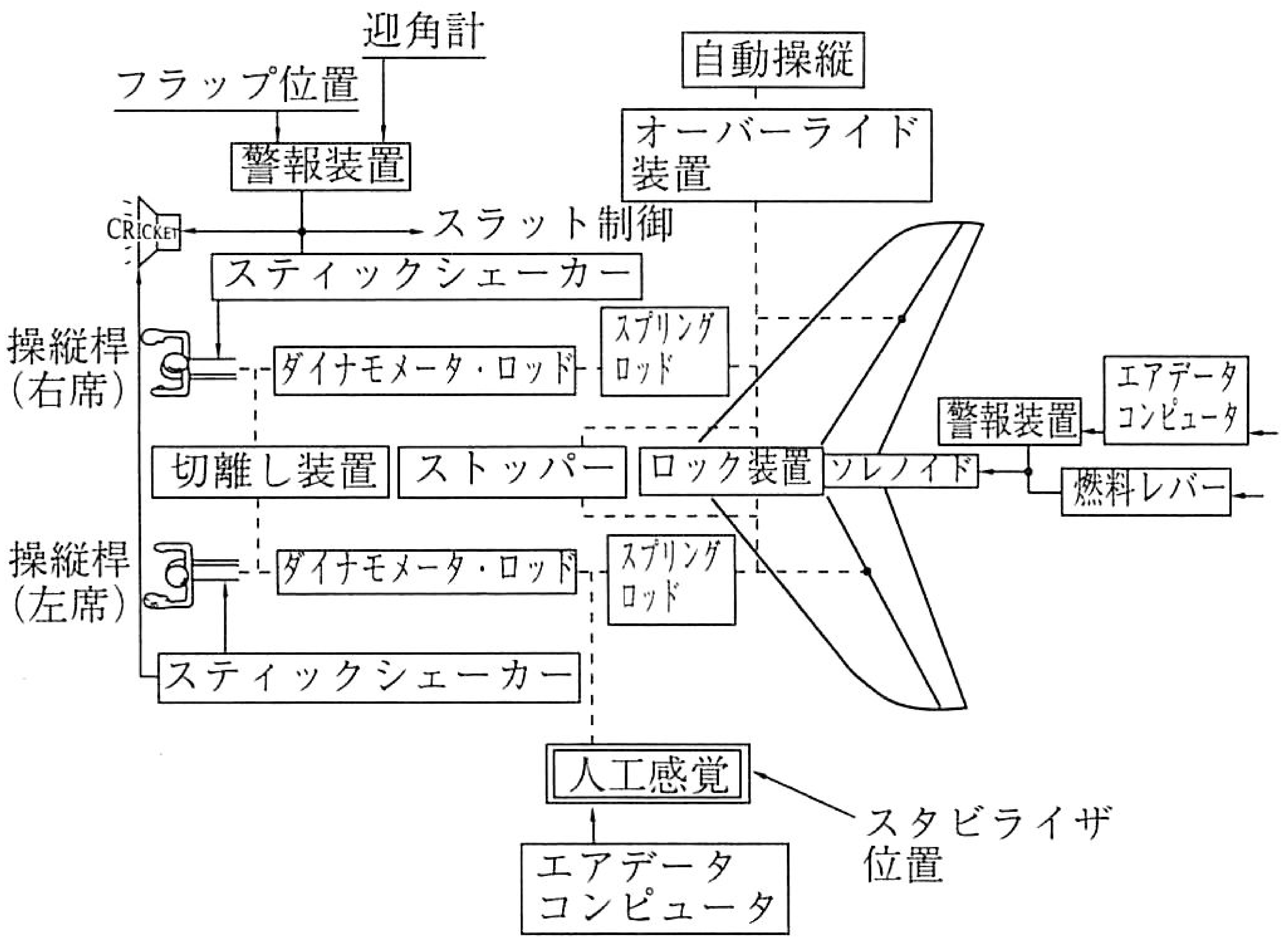
ところが、またもやこの種の事故が起こりはじめた。一九八八年から一九九一年までの四年間に五一件のジェット旅客機の事故が起きたが、そのうち一八件（三五パーセント）が実にこのCFITであった。コンピュータ技術を駆使したフライ・バイ・ワイヤ（ケーブルや油圧配管で機械力を直接伝えるのではなく、電線で電気信号を操作端の駆動装置に伝え制御する方式）などの最新技術を取り入れ、各種の保護・警報装置を装備し安全性が高いはずのエアバスA三二〇型機などが飛びはじめたときから、この種の墜落事故が、また起こりはじめたのだか

ら、自動化と人間のミスマッチがにわかに問題になったのだ。

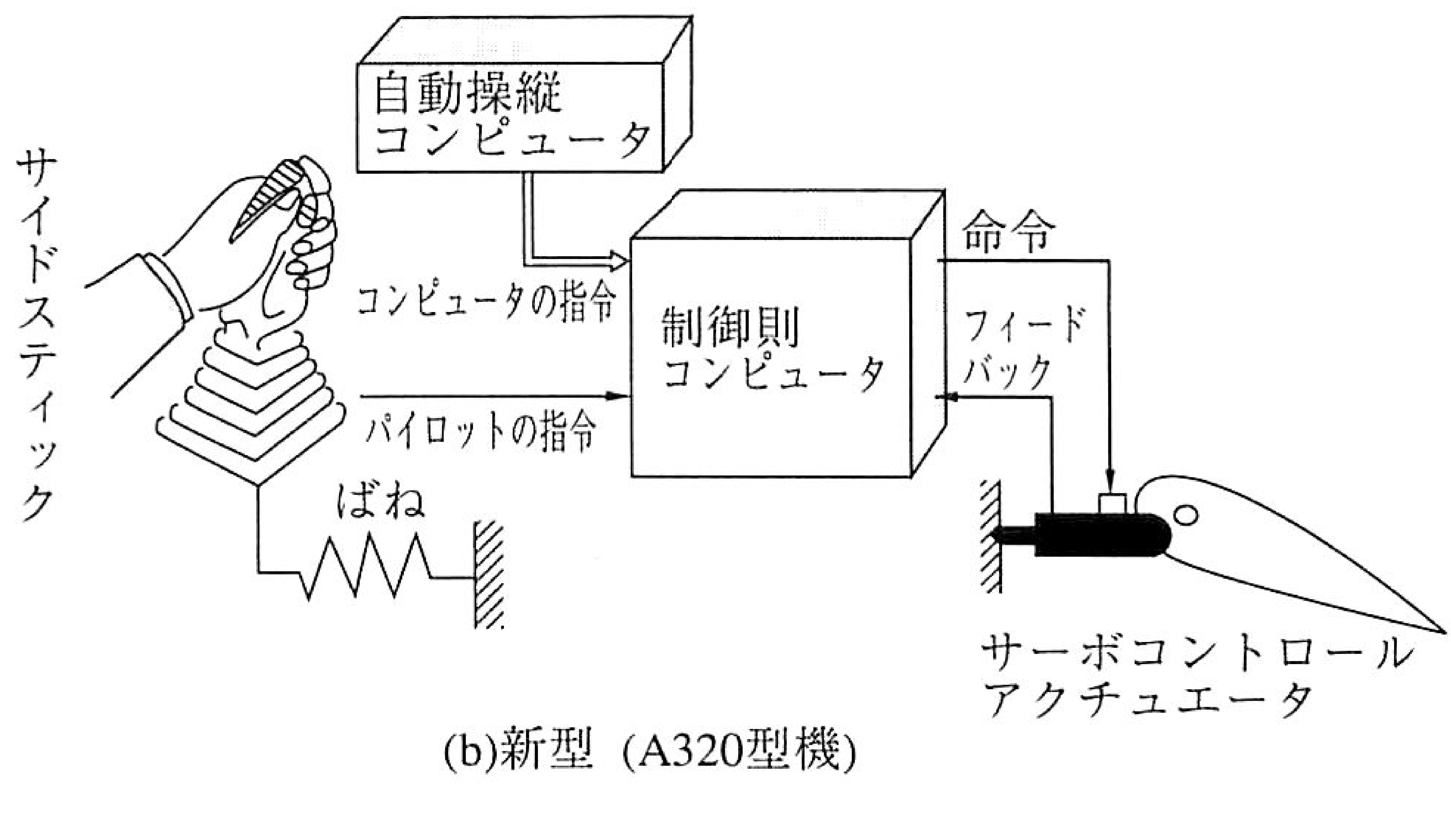
一九九〇年バンガロールで墜落事故を起したインド航空機にとっても、このハイテク機の自動化システムはなんの助けにもならなかった。インドでは空港の着陸用援助施設が不備なため、この自動操縦システムが使えなかったからである。そのため、この機は手動操縦で着陸進入中、速度が正規の値よりも二五ノット（秒速一三メートル）低くなって、失速速度からの余裕がなくなっていたが、パイロットは二人とも速度を監視していなかった。失速に気づいたときは遅過ぎて、ついに回復できず墜落したのだ。

古きよき時代のパイロットたちは、シート・オブ・パンツ（ズボンの尻）で機体の運動を感知しながら操縦したものであった。つまり機体の動きを肌で感じることができたのである。ところが、A三二〇型機ではエンジンの推力はコンピュータが調節する。そのときは手動で推力調整するために設けられたスロットル・レバーは動かないから、パイロットには推力が変わったことを認知する手がかりはない。その結果、着陸前に速度を落としたとき、推力が不足しているのに気づかずにいると、低エネルギー状態になる。

飛行機というものは、エンジンの推力と速度が十分あると、速度を落として余った運動エネルギーを利用して上昇することができる。推力を絞ったとき速度の余裕がないと、低エネルギー状態になって、機の高度が落ちても、打つ手がない。そこで高度を回復しようとして、スロッ




(a)従来型　(A300型機)




(b)新型　(A320型機)

V－5　従来型機と新型機の操縦系統の比較

トルを開いても、十分な推力が出るまでに数秒かかる。この事故が契機となって、エアバス・インダストリー社は低エネルギー状態警報システムを開発してA三二〇型機に装備した。これは手動操縦で飛んでいるときに作動する（発展途上国では航行援助施設が不備で自動操縦で着陸進入ができない事情を考慮したものかもしれない）。

しかし、警報を設置する以外に、考えねばならない問題がある。A三二〇型機では、このように自動操縦のときパイロットに対し触覚によるフィードバックが与えられていないのは推力だけではない。操縦桿は新型式のサイド・スティックになって、その位置は操縦席の脇に移されているが、これにもパイロットに対する操舵力のフィードバックがない（図V―5）。そのような設計に対して、とくに米国で批判が多い。ボーイングのB七七七型機やダグラスのMD一一型機と一二型機では、自動操縦装置と自動推力設定装置が作動しているときでも、操縦面やスロットルがどう動いているかの感覚（これをコントロール・フィールという）をパイロットに与えるため、ホイールやレバーは動く設計になっている。従来のコックピットも図V―5に示したように、操縦桿に操舵力をフィード・バックするための、フィール・コンピュータとフィール・ユニットが設けられている。

もう一つのA三二〇型機の事故は、一九九二年一月にフランスで起こった。国内線を運航しているエア・インター機（フランス語ではエア・アンテール）がストラスブール空港に進入

中、手前の丘に激突したのである。事故原因はまだ確定されてはいないが、推定では自動操縦装置の設定値のミスではないかといわれている。

A三二〇型機では、自動操縦で進入するとき、降下角を設定するモード（方式）と降下率を設定するモードのどちらかを選ぶことができ、計器盤中央のコンピュータ表面にある小さな押しボタンで、モードを切り替える。事故機のパイロットは降下角モードを選んで降下角三・三度にセットしたつもりで、切り替えボタンを押し違えて、降下率モードを選んで降下率

# 仏のエアバス墜落

## 96人乗り9人を救助

### 強風・濃霧の独仏国境近く

【パリ21日西川恵】仏国内航空エール・アンテールのエアバスA320型旅客機(乗員六人、乗客九十人)が二十日午後七時半(日本時間二十一日午前三時半)ごろドイツとの国境に近い仏東部ストラスブール南方四十㌔の山岳地帯に墜落した。機体の残がいの周辺に投げ出された乗員、乗客の中には生存者が十数人いる模様で、二十一日午前一時(同九時)までに一歳半の女児一人を含む九人が救助された。しかし、重傷者もおり、現場で応急手当てが続けられている。




(社会面に関連記事)

同旅客機はスイスに近い仏第二の都市リヨンの空港を二時間前に離陸、目的地のストラスブール空港まで五分というところで消息を絶った。捜索の結果、四時間後に標高五百㍍あたりのサントディル山の山腹に墜落しているのが発見された。

航空当局者らの話を総合すると、同旅客機は消息を絶つ直前、着陸態勢に入っており、サントディル山の上空二千五百㍍地点を通過する予定だったという。事故当時、同地方一帯は雪まじりの強風と濃霧がたちこめ、気象条件は悪かった。事故の直前、旅客機からの緊急信号は出ておらず、パイロットが操縦を誤って低空飛行をしたか、気流に巻き込まれ墜落した可能性が強い。しかし事故当時爆発音を聞いた人もおり、テロを含めた空中爆発の可能性もあるという。

事故機は八八年十二月に就航し飛行時間は六千三百時間程度。同型機は八八年六月、仏で公開飛行中にパイロットの操縦ミスで林に墜落、三人が死亡、五十人が負傷したほか、九〇年二月、インドで墜落、九十人が死亡している。

**日本人らしい名ない**

外務省邦人保護課に二十一日午前、在ストラスブール日本総領事館から入った報告によると、乗客名簿に日本人らしい乗客の名前はなかった。

1992年1月21日　毎日新聞夕刊より



V−6　A320のコックピット

を三三にセットしてしまった。降下率は一〇〇フィート（約三〇・五メートル）単位で表すから、これは、降下率を毎分三三〇〇フィート（約一〇〇〇メートル）にセットしたことになる。降下角の三・三度は降下率では約二〇〇メートル／秒に相当するから、正規の値の五倍近い垂直速度で降下したことになる。

乗員たちは最後までそのミスに気がつかなかった。悪いことは重なるもので、エア・アンテール社はＧＰＷＳ（地面接近警報装置）の装備を勧告されていたにも拘らず、それをしていなかった。

この中間報告の推定に対して、エアバス・インダストリー側は「降下モードの設定を誤るようなことは起こるはずはない」という。

「まず、ボタンを押してモードを選択すると、そのモードを示す「ＨＤＧ　Ｖ／Ｓ」の文字が表示窓の中央に表れる。同じ表示はＰＦＤと呼ばれるモニター用テレビ画面（図Ⅴ―６）の上部にも出る。また、その画面には、それぞれのモードに対して違ったシンボル（降下率モードには飛行機の形、降下角モードにはバー）が人工水平線に重なって表示される。そのうえ、この事故の場合のように、地面が接近したとき降下角が深くなったら、画面上の垂直速度の表示が緑からアンバー（琥珀色）に切り替わる。パイロットは、このようないくつかの前兆を全部見落としたことになるが、それは不合理ではないか」

しかし、どんなに不合理なことでも、装置がそのように操作できるように設計されていれば、いつかは必ず起こるのが現実である。このことはマーフィーの法則（「予測される最悪の事態は、必ず起きる」というもの）として知られている。ストラスブールでそれが起こったかどうかは、まだ最終結論が出ていない。

## 規律と動機づけ

「はじめに」でも述べたが、ウイリアム・モスという機長によると、乗員の主要任務は設計者、整備員、その他の人々の失敗に対処することである。

どんな装置や機械が発明されようとも、航空の安全は、依然としてその主要な部分をこの男たちの技量と献身に負っている。それならば、男たちの献身はどうすれば確保されるであろうか。

人間の行動は動機づけ（行動を刺激、誘導し方向づけすること）に影響される。強い動機づけには、参加の意識、仕事の満足感、結果の認識とフィードバック、優れたリーダーシップ、よくない行為に対する処罰などが条件となる。処罰はすぐに思いつく方法である。

大人のための寓話『星の王子さま』の作者のサン・テグジュペリは、航空輸送創成期のパイロットで、一九二〇年代後半にヨーロッパからアフリカを経由し南米大陸に至るルートを開拓

した。彼はその経験をもとにした小説『南方郵便機』と『夜間飛行』を発表し、作家として認められた。『夜間飛行』の中で、テグジュペリはリビエールという個性的な航空会社の支配人を描いた。南米からヨーロッパへの配達時間を短縮するためには、日中集めた郵便物を翌朝を待たず夜間大西洋横断して運ぶ必要があった。

この当時としては、リスクの多い定期飛行ルートを開拓しようとしたこの事業家は、悪天候を冒して飛行を敢行させるために、弱気と怠慢には厳罰をもって臨んだ。そうすることによって飛ぼうとする意欲をパイロットに奮い起こさせたのである。

この本の序文を書いたアンドレ・ジイドは、このマネジャーを次のように評している。「私は操縦士よりも、支配人リビエールの人物により多く驚嘆する。彼は自分では行動しないが他人に行動させる。……彼の一徹な決定の前には弱気は一切許されない。また、どんな小さな過失も仮借なく罰する。彼の厳格さは一見非情無道とさえ思われる。しかし、その厳格さは人間に向けられるのではなく、人間の持つ欠点に向けられる。彼は人間の欠点を矯正しようと言い張るのだ」

ここに表された思想は、「過失があったから罰する」ということである。

私は、これと似たような話を最近耳にした。旧国鉄では「処罰主義」がまかり通ったというのである。「アリバイ作り的事故対策」が行われた。管理者は大量の指導文書とマニュアルの

ファイルを作ることをもって安全対策とし、苛酷なルールを現場に押しつけた。現場の状況にはお構いなく「規則に書いてあることは守られる（べきである）」という立場である。そのような上意下達の組織体制が発想や創意の芽を摘んだと、ある安全担当者は反省する。

今日の航空界では、このような規則に重点を置いた対策は誤りとされている。ＩＣＡＯ（国際民間航空機関）が作った事故防止マニュアルには「航空安全を維持するには、従来のような規則による安全管理だけでは不十分である」と書いてある。オーストラリア操縦士協会の副会長のフェルトン機長は、国際航空安全セミナーで「安全のための規則を作ることは何ら差し支えありません。しかし、ずっと困難なことは規則を守らせることです。規則が遵守されるか否かの保証は、業界全体の誠意に依存しているに過ぎないのです」と語っている。フェルトン機長は、モラルの問題に言及しているのである。

しかし、当事者たちのモラルだけを頼りにしていてよいのであろうか。政治でも社会でも、他からチェックを受けつけない人間集団が健全に機能した例を、我々は知らない。モラルを保証する手だては何かあるのか。

今日のように航空機のシステムが複雑になり、また安全性向上と公害防止の立場からの規制が多くなると、何をすべきで何がなすべきではないかについて完全な知識を持ち、即座に判断を下すことは難しくなる。いっぽう、現実的要求として、迅速正確であるためにはコックピッ

ト内の作業は、できるだけ単純でなければならない。この単純作業と複雑なシステムの間を仲介するのがマニュアル・チェックリストである。このマニュアルは単純化されてはいるが、そこには性能上、運用上の大量のノウハウが凝縮されている。

マネージメントからみると、このマニュアルを含めた規定類は別な意味をもっている。航空機の安全運航はパイロットの自律性を前提としなければ成り立たない。なぜなら、地上の業務と違って、コックピット内での彼らの仕事ぶりを、会社は直接監督できないからである。したがって、パイロットは自分で自分の仕事を管理しなければならない。この自己管理の手段が諸規定でありマニュアル・チェックリストなのである。

しかし、この諸規定・マニュアル類も脆弱な面をもっている。なぜなら、パイロットはプロとしてのプライドが高く、他律的管理を受けつけない性向をもっているからである。また緊急時には感情が支配するようになる。人命を預っているという責任感からくる気負いもある。ある指導的な機長は「人（パイロット）が法に服する心情には、過去の学習によって身につけた個々人の理性によって正当化している危うさがある。……非常時や感情がもつれた事態では、まったく通用しないおそれがある。こうした状態では、人（パイロット）は知らず知らずのうちに感情の支配体系の中にもどってしまう。規範やルールはどれほど立派でも無力であり、無きにひとしい」といっている。

「非常事態が発生したら、地上にある人命、財産の保全を考慮した最後の勤めに最善を尽くすことが機長としての重要な任務で、それは法や規則また他律的管理で動く世界とは異なった世界の行動である」と考えるのである。このような人間愛のために、職に殉ずる使命感からパイロットの自律性が高まることは期待できるが、他方、平常心で行われる細々とした規則遵守とチェックとによって、日常的に航空安全が保たれている事実も無視することはできない。

もし、経営や支援部門の怠慢から不安全状態を招いて、パイロットに危機的な努力を強いることによって、かれらが殉教者や特攻隊員のような気分に陥り、一般の人々とは違った世界に住むと考えるようになることがあれば、不幸なことである。パイロットは優れた人間で、それにふさわしい尊敬を享受するのは当然のことであるが、しかし、自らを特殊な選ばれた人間と考えるのは、危険なことである。それではパイロットは普通の人間の感情がもてなくなるし、いうところの人間愛も疑わしくなるからである。そうならない体制を整えることは、彼らを支えるすべての人々の重要な仕事である。

マニュアル・チェックリストには、技術的に限った場合でも、問題はないであろうか。一つは、その単純さがシステムの単純化、あるいは性能の強化と受け取られやすいことである。米国のスリーマイル原発の事故は、バルブ一つの操作ミスから起こった。高度に自動化されたシステムでも、スイッチ一つの単純な操作が、正確に行われないと大きな危険を招く。しかし、

それがなかなか実感されない。

また、高い信頼性をもつシステムでは、長い間無事故が続くが、そうなると、なおさら警戒心が薄れる。このことは前に麻酔医の話を例にして述べた。このような気の緩みは、コックピット内の仕事が立て込む異常事態では手抜きの原因となり、危険な落し穴になる。

また、サン・ホセ州立大学のデガニ教授とマイアミ大学のウィーナー教授は、共同論文の中で、チェックリストには「住み着いた病原体」のような隠れた欠陥があることを指摘した。それは普通は表面に現れないが、なにかの拍子に現れて悪さをする。教授たちはその対策を提案している。そのうちの二、三を挙げれば、

①「スタビライザー・トリム」という呼び掛けに対し、ただ単に「チェック」あるいは「セット」と応じるのではなく、そのトリムの所要の数値を答えなければならない。スイッチなら所要の状況（「オン」、「オフ」など）と答える。

②最も大事なチェック項目は最初に持ってくること。これは大事な項目が尻切れとんぼにならないためである。

③チェックリストが、生産圧力の影響を受けやすいことも隠された欠陥である。パイロットは、いつもタイトな運航スケジュールの重圧のもとにある。そのうえに悪天候、空港混雑

が重なり、さらには燃料節約のための余分な手順などが錯綜してタイトに絡んでくると、チェックリストを完全に終了できないままの離陸となる。

この論文では触れられていないが、チェックリストの最も致命的な欠陥は人間的ミスに対する「安全弁」がないことであろう。日航のセーフティ・テン（安全一〇ヵ条）は「チェックリストは最後の砦」といっている。この砦が破られたら、あとには歯止めがないのである。次に述べるのもその一例で、一九八八年八月三一日、ダラス・フォートワース空港で起きた事故の経過である。デルタ航空のB七二七型機が、ユタ州のソルトレークに向けて飛び発とうとしていた。三つのエンジン全部が回転しはじめた後、出発遅れが確実になった。会社の規則ではこのようなときは燃料節約のため、エンジン一つを止めて待たなければならない。第三エンジンが止められた十数分後、離陸の順番が四番目になったので第三エンジンを再スタートさせた。その直後、管制塔から、すぐ滑走路に入って待機せよと指示してきた。離陸の順番がなぜか三機追い越して一番になったのである。わずか二〇分の間に状況は目まぐるしく変わり、コックピット内はてんてこ舞いになった。

そんな状況で、三人いた乗員たちは一人としてチェックリスト項目にあるフラップとスラット（離着陸のとき展開されて主翼の揚力を高める補助装置）の位置確認をしなかったらしい。

離陸滑走を開始し加速したあと、速度が一三一ノット（秒速約六七メートル）に達したとき機長は機体を上向きに回転させるローテーションの操作を行った。規定どおりにフラップを一五度に下げ、スラットを出していれば約八・六度の機首上げの姿勢で一四四ノット（秒速約七四メートル）で脚が地面を離れるはずであった。しかし、この高揚力装置が規定の位置になかったから、翼の揚力は絶対的に不足した。この場合は、速度が一五八ノット（秒速約八一メートル）になるまで、しかも、ピッチ角を約一〇度まで引き起こさな



# 米旅客機が墜落、炎上

## 104人乗り 15人死亡確認

ダラス空港

【ニューヨーク三十一日＝横井特派員】米テキサス州のダラス・フォートワース国際空港で三十一日午前九時（日本時間午後十一時）、デルタ航空の旅客機ボーイング727機が離陸直後に墜落、機体は二つに割れて炎上した。同航空によると乗客九十七人、乗員七人が乗っており、これまでに十五人の死亡が確認されたほか、多数の負傷者が出た模様である。四十七人

五十九人が救出されたとの情報もある。日本人乗客がいたかどうかは確認されていない。

同機はミシシッピ州ジャクソン発のデルタ航空…



墜落したB727機の同型機＝AP

米テキサス州ダラス・フォートワース空港で墜落、炎上したデルタ航空のボーイング727機＝31日、テレビ朝日から

1988年9月1日　朝日新聞朝刊より

ければ離陸しなかった。

B七二七型機には、スラットが引っ込められた状態では、翼端から気流が剝がれやすい性質があった。したがって、このような角度にまで翼を傾けたため、気流が翼面から剝がれた。スティックシェーカ（操縦桿が揺れて失速を警告する仕掛け）が作動した。また、無理な機首上げ姿勢のため胴体後部の底が地面を打って火花を出した。「何かおかしい」と機長がいい終わらないうちに機体は右に傾き、翼の先端が地面を打った。機は滑走路先端から三〇〇メートルのところにあるILSローカライザ・アンテナ（計器飛行で着陸するための誘導電波を発射する）に激突し、壊れて火を発した。

滞空時間は二二秒であった。乗客一二名と客室乗務員二名が死亡し、多数の負傷者が出た。

この事故は、複雑な事情がタイトに絡み合った状況のもとで起こった。しかし、人々の注意を引いたのは、滑走路に向かって誘導路を移動している最中コックピット内で、パイロットと客室乗務員が仕事と関係ない会話にふけっていたことである。その会話をリードしたのは副操縦士で、エンジン・スタート中もチェックリスト進行中も続いた。

機長はこれに対し、終始受身で、副操縦士に注意しなかった。機長はこのときリーダーシップを喪失していた。機長は確かにリーダーである。だがリーダーとしての地位が与えられたからといって、ただちにリーダーとして振舞えるかというと、そう簡単にはいかない。そのため

には、メンバーから好意を持たれ支持されていなければならない。つまり、コックピット内の協調が、機長がリーダーの役目をはたすためには欠くことができない。

著者もよく経験することであるが、パイロットは話好きで、また話題が豊富である。このパイロットに共通する特徴が生まれたのには、わけがあるように思われる。コックピットの中は一つの集団である。磯貝芳郎氏は著書『集団の心理学』(講談社現代新書) の中で「一つの集団が凝縮度を高め仕事をしていくためには、メンバー相互間のコミュニケーションが不可欠である。コミュニケーションには道具的 (用事のための) コミュニケーションと表出的 (無駄話) コミュニケーションがある。我々の社会生活を支えているのは無駄であって、非常に沢山の無駄の上にほんの少しばかりの用事が乗っているに過ぎない。無駄のない生活ほど味気ないものはない。集団を維持していくには表出的コミュニケーション (無駄話) の役割を無視することはできない」と書いている。

これは納得できる議論である。コックピットの中で皆が押し黙って仕事に必要なこと以外は口にしないといった状況を想像してみると、そのほうがかえって異常である。パイロットの間でよく交わされる「表出的」コミュニケーションは、緊張度の高いコックピット内の雰囲気を和らげ、協調関係を築くために役立っている。しかし、何事も度を過すのはいけない。優れたパイロットとは、そこのところの微妙な区別ができる人のことである。

# VI　社会と航空
## ―経営―



前にも書いたように、航空事故は幾重かの防壁が破れた末に起こる。パイロットはその最後の砦を守っていて、不幸にして敗れ去ったのである。もっと重大な敗北がそれ以前にあったかもしれない。ここで前にも引用したモス機長の言葉を想い出す。「だが、そうした誘発要因はあるにしても、乗員がその事故の発生を予防しなかったという事実は依然として残る。私にいわせれば、乗員の主要任務は設計者、整備員、その他の人々の失敗に対処することなのだ。そのためにこそ、飛行機は完全に自動化されてはいないのである」

それならば、パイロットは事故現場にいたというだけで、責任の大半を負わねばならぬのだろうか。モス機長もいっているように、航空事故は多くの部門で起こった不祥事に端を発し、システム全体の事故にまで発展する、いわゆる「システム性事故」の典型である。ところが、航空事故の取扱い方には、複雑な潜在的要因には言及しないで、粗雑な要約や平易化を行っているものが多い。

目につきやすいこと、時節にあったこと、身近な出来事、ショッキングな、暗い面などが強調される。とくに、犯人捜しに関心が集まる。システムは犯人に仕立て上げにくいから、人間パイロットに目が向く。

## 犯人捜し

近代啓蒙思想は人間を理性的動物と考えた。「人間は生まれながらにして平等な理性を授け

られており、その理性に従って行動できるものである。このような理性人が罪を犯したからには、罰せられねばならない」。巨大技術の時代になっても、個人責任に対する信念には揺るぎがない。事故が起こったのは誰かが過失（この場合は注意義務違反）を犯したからである。注意能力をもつべきものがその義務に反したからには、過失の責任を負うのが正当である、というのである。

しかし、今日のように機械システムだけでなく、それを運用する組織も巨大化し、仕事も分業化が進んでいる航空輸送で、個人がどれだけの責任を負うべきなのか。パイロットのミスが直接原因であるように見えるときでも、その行為は、個人の判断だけで行われるのではなく、所属する会社によって醸成された企業文化の中で行われている。

また、利用者の定時性、全天候性に対する要求に応えようとして発生する生産圧力もかかってくる。ボーイング社のラウトマンとガリモアは、事故の多い会社とそうでない会社はどこが違うかを調べた。その結果わかったことは、事故の少ない会社では経営者が安全を強調していることであった。会社のトップの姿勢は社員一人一人の行動を条件づける。このことも事故の責任がいかに広く分散しているかを示している。

このようなことから、事故原因の複雑さを考えない一方的な犯人捜しは業務の実態にそぐわないという認識が、少なくとも航空業界では行き渡っている。すでに一九五一年に採択された国

際民間航空機関（ＩＣＡＯ）の付属書一三「航空機事故」の中でも「航空機の事故やインシデント（大事に至らなかった事故）の調査の目的は、事故ないしインシデントの再発防止でなければならない。調査活動はとがめたり責任を追求することではない」と明記されているのは、この趣旨からである。

そうはいっても、事故調査は簡単ではない。事故関係者たちが、航空安全のために事故原因の調査が必要であると認めてはいても、不愉快な問題からは目を背けたいという心理が働く。これは人間共通の弱点である。このことがわからず、事故防止や報道の自由といった大義名分を振りかざして、不用意な行動をとると、人を傷つけ、信頼を裏切り、反発を招き、その結果、最も重要な目的である問題点の解明が難しくなる。

米国では政治家が航空事故を議会で取り上げることがある。議員が特定の政治的思惑から、公正を欠く断定的な発言を行うことがあり、これが対立感情を醸成して、事故原因の解明の手がかりを失わせることが往々にして起こるといわれる。これではかえって事故防止の妨げになる。

今日の航空輸送とそのインフラストラクチュア（支援設備）は、複雑化、巨大化するとともにますます専門化の度合いを強めているから、各国とも事故原因の判定には中立的な技術者集団が当たっている。ところが、この中立機関はパイロットの間で評判は芳しくない。事故調査

活動は事故防止責任者の体面を傷つける側面をもつことは、どうしても避けられないからであろう。とりわけ、対象を特定した勧告は受け取る側にとって暗に批判を含むものと取られたり、いわゆる「他人の発案拒否症候群（自分のことを他人にいわれるのを嫌う）」からくる心理的な反発を招くおそれがある。結局、特定した勧告は不安全要素の除去のためには最善の方法ではない。

### 秘密の告白

前項で述べたような事故調査に対する拒否反応を回避して、事故原因を突き止め、適切な処置をとるための有効な方策の一つは、当事者から自発的に提供されるエラー情報を活用することである。コックピットの中で起こったことを最もよく知っているのはパイロットである。しかし、その人たちは口を閉ざしがちであるのはなぜか。それは、まず第一に、世間が犯人捜しをやりたがり、誰かを罰しなければ納得しないことが原因である。

そのような事情に配慮し、エラー情報の確実な伝達と活用を目的として米国、英国、カナダ、オーストラリアなどの各国には秘密報告制度がある。その多くは公的なものであるが、ニュージーランドのものは非政府機関である。

秘密報告制度は、情報提供者の信頼がなければ成り立たない。一回でも情報の漏洩があれば

台無しになる、ガラス細工のように脆いものであるから、各国では報告者名の秘匿には特別に留意している。たとえば、オーストラリアでは運輸通信省の中に、行政組織である民間航空局から独立した組織として航空安全調査局（ＢＡＳＩ）がある。

この機関は、一九八八年に秘密航空事故報告制度（ＳＡＩＲ）を発足させ、インシデントがあれば四八時間以内に報告することを義務づけた。報告者の範囲は、その後、管制官、客室乗務員、整備要員にまで拡張された。ＢＡＳＩの局長には報告秘匿の責任がある。秘密報告を担当するオフィスに入るには二つの暗証ロックドアを通らなければならない。集まった報告は、ここで匿名でコード化され、コンピュータ通信で情報交換することができる。報告は年に一六〇〇件ほどあるといい、その分析結果は年四回、ＢＡＳＩジャーナルに掲載される。

米国の航空安全報告制度（ＡＳＲＳ）は航空宇宙局のエームス研究センターが担当し、その役割は航空界から高く評価されている。一九九二年までの一二年間に二〇万件の報告があった。これをもとに二五〇〇の個別研究と、四〇の大規模調査研究が開始された。

わが国では、各航空会社が社内の安全報告制度を運営しているが、世界有数の航空輸送実績を誇る国としては、先進国並みに公的機関の設置を考えるときにきているのではないだろうか。

## デレギュレーション

一四一ページに書いたデトロイト空港でのノースウェスト機事故には、次のようなエピソードがある。

ノースウェスト航空の前査察主任で、事故当時は運航部門のマネジャーをしていた人が、事故の約二ヵ月前、本社宛の文書の中で次のように提言している。

「法外な数のDC九型機のパイロットが安全違反すれすれのことをやっているが、会社はこれを正すためにどのような計画を立てているか。……一九九〇年の九月二二日から一〇月一七日の比較的短期間に、間違った空港への進入、高度違反、不正な操作（誤ったフラップ角設定での離陸、三回の尻餅事故など）があった。……パイロットのプロシジュア（運航手順）の標準は以前は高かったが、一九八四年にリパブリックと合併した後、また、会社が膨張して月に三〇～四〇人ものパイロットを雇う必要が起こったときから、悪くなった」

この文書に書かれた一九八〇年代には、米国の航空業界は、企業の破産、吸収、合併が日常茶飯事のように起り、大いに混乱した。これは会社間の競争を促すため米国政府がとった規制緩和政策（デレギュレーション）の影響である。この規制緩和政策とはどういうものだろうか。

時代は、航空輸送創成期の一九二〇年代に遡る。米国の航空輸送業は、はじめ郵政省の手厚い補助を受けて郵便空輸から出発した。その後、航空輸送は長距離公共輸送の面で著しい発展

を遂げたが、他方、国威発揚の手段と考え、国防や国家財政その他様々な国の利害にも結びついたため、各国は航空輸送を手近に監督しようとした。米国で一九三八年に制定された民間航空法は、当時の航空業を幼稚産業と捉え、政府の適切な介入を求めたものであった。

一時、商務省と州際通商委員会が航空会社の規制に関わったが、一九四〇年に民間航空委員会（ＣＡＢ）が経済関係の航空規制に当たることになった。この委員会は、大統領直属の機関で、新規事業者の参入規制、運賃統制、補助金の付与などの権限を持っていた。

法制定当時に営業していた先発の航空会社に対しては、祖父条項（Grandfather Clause）によってその路線の事業免許が与えられたが、新規事業者の参入は認められなかった。この参入規制がその後約四〇年間続いたため、この既成航空会社が幹線航空会社の一群を形成した。航空業がその後大幅な成長を遂げると、新規参入を求める競争圧力が強まって、規制撤廃を求める声が高まった。一般に政府の規制は安全確保、品質基準の確保、過当競争の排除などを理由にして行われる。これに対し規制に反対する論者の主張をかいつまんで述べると、次のようである。

第一に、自由競争の経済では市場への参入、退出、価格の設定は本来、市場原理に任せられるべきものである。需要と供給のバランスによって価格は上下し、その将来予測に応じて会社

は参入、退出する。このようにして決まる価格や生産量が、生産者利潤や消費者利益を合計した国民経済利益を最大にする。国が参入を規制すると少数の企業が独占力を持つため、独占利潤が生まれ、消費者利益が大きく損なわれる。また、運賃が規制される場合は、航空会社は便数を増し機材を大型化して乗客が利用しやすくすることによって、シェアの拡大をはかる。その結果、各社は余剰の機材を抱え、ロードファクター（座席数に対する乗客数の比率）は低下するから、運賃は高水準にならざるを得ない。

キーラーの研究（一九七二年）では、参入や価格を規制した場合の運賃は競争条件で予想される運賃よりも二〇ないし九五パーセント高くなる。ボーイング社とロッキード社も、同じ頃、ロードファクターが七〇パーセントまで上がると運賃は約半分になるとの見積もりを発表している。

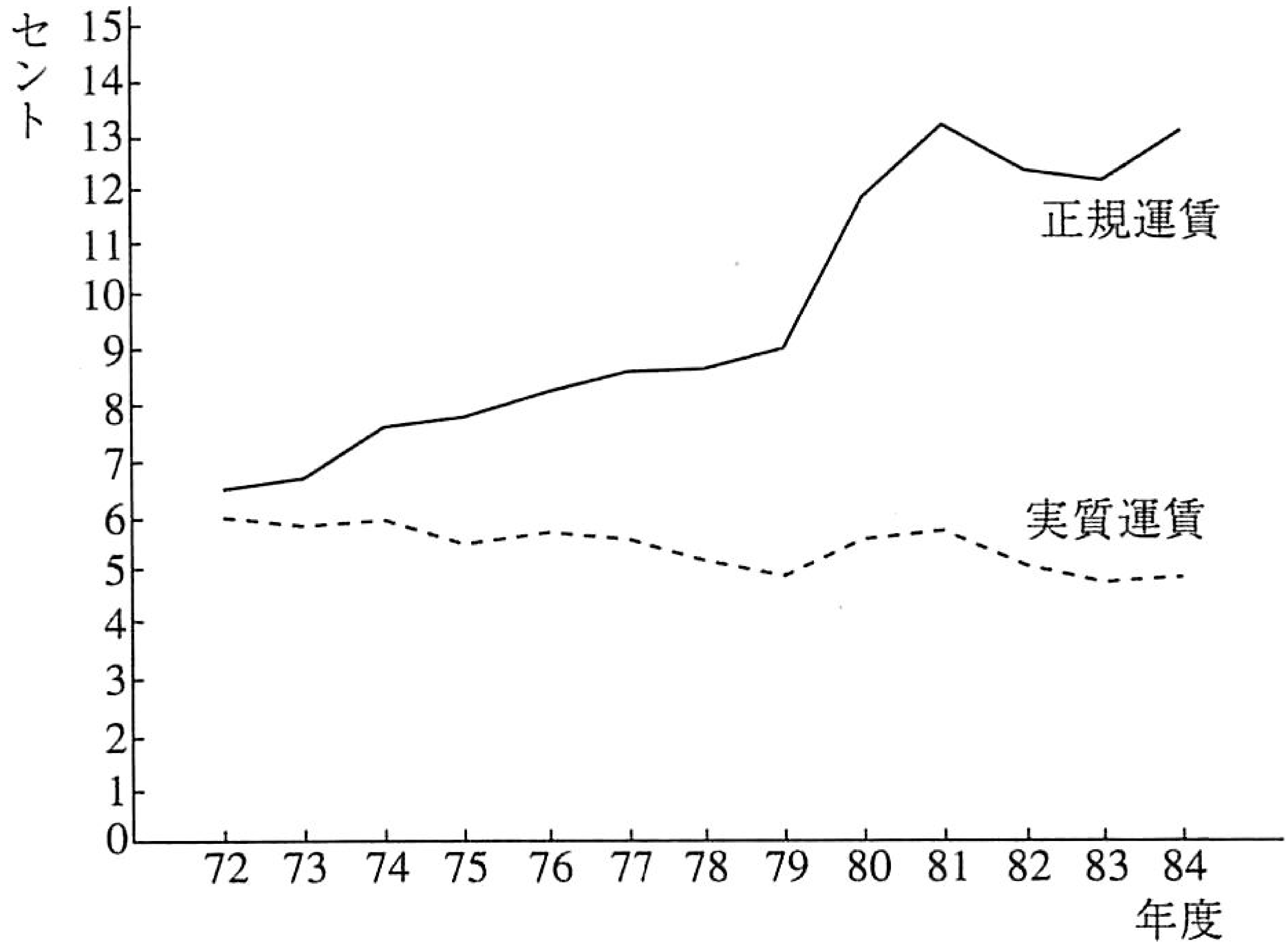
第二に、国が運賃を規制するのは妥当であろうか。適正な価格を判断することは適正な利潤を判断することにほかならない。それを判断するには、規制当局はコスト計算や需要予測にまで立ち入った知識をもたねばならないが、果たしてそうであろうか。さらには、この価格規制の裁量には幅が大きいから、許認可の際の手加減を求めて裏面で非生産的な活動が行われる。日本の論者は、許認可権限に絡んで、次々に起きた政治家のスキャンダルを規制の非生産的側面としてとらえ、反対に、一九八〇年代に起こった各種宅配料金や電話料の引き下げを規制緩

和の成果、あるいは規制に挑戦する企業の努力によるものと評価している。

第三に、競争の規制は安全上必要か。この問いに対しても、緩和論者は否定的である。安全確保は企業の新規参入、退出、運賃の規制によらなくても可能である。現に、航空法には、民間航空の乗務員の選抜、教育、及び訓練、航行援助施設、航空機の耐空性などに関する数多くの規定が含まれている。このように、国が民間航空にこと細かに技術強制を行うことによって航空の安全を確保することができる、というのがその主張である。

規制緩和論は、米国では一九六〇年代末から唱えられた。一九七四年から七五年には上院司法委員会長のエドワード・ケネディなど有力政治家やフォード大統領までが規制緩和を唱え、その後、カーター大統領の政権下の一九七八年一〇月に航空会社規制緩和法が成立した。この規制緩和政策によって運賃競争が起こった。新規業者が参入し、既成業者も新規路線に進出した。なかでもピープル・エキスプレスはサービスを切り詰めることによって低価格チケットを供給し、一時は隆盛を誇った。

他の会社も、これに対抗上コストを削減して運賃を下げざるを得なくなった。その結果、競合する路線では各種割引きなどの価格競争の結果、正規運賃は上がっているにもかかわらず、低運賃となり、実質運賃が下った(図VI―1)。最近でもトランス・ワールド航空が口火を切っ




VI-1　デレギュレーションと航空運賃

た価格競争が激化している。

このような混乱が起きたにもかかわらず、規制撤廃が米国の社会の福祉に貢献したと評価する声がある。これを理解するには、米国ではわが国と違って航空輸送が社会で果たす役割が比較にならないほど大きいことを考えなければならない。

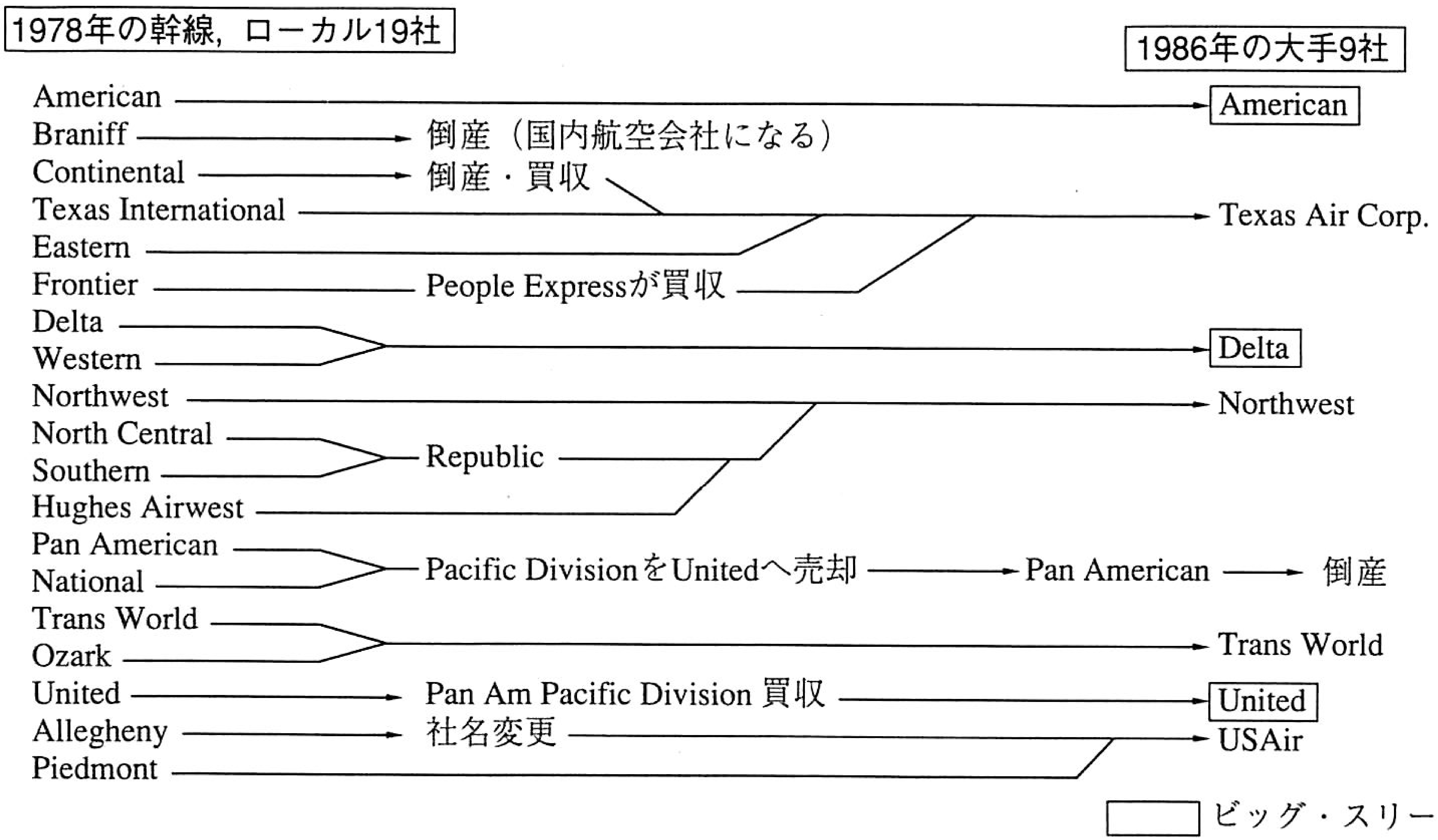
米国では交通機関別のシェアは道路交通（自家用車がほとんど）が九〇・五パーセント、航空交通が八パーセントであるが、鉄道は〇・四パーセントに過ぎない。このことは、自家用車で行けない遠距離は列車でなく飛行機で行くことを意味する。航空は社会生活に必需であり、貧富を問わず利用する。したがって、航空運賃の低下と路線網の拡大による社会的インパクトは大きいのである。

しかし、規制緩和の悪影響も現れた。価格競争に破れて倒産し、または他の会社に吸収合併される会社も多数にのぼった。規制緩和後の一四年間に一三〇社が倒産した。というわけで、一九八五年頃からは航空業界では、逆に、寡占化と会社の大型化の傾向が現れている。一九七八年当時、一〇社程度あった幹線会社が、現在ではアメリカン、デルタ、ユナイテッドの、いわゆるビッグスリーを筆頭とする数社に減った（図VI－2）。

リパブリックのノースウェストへの吸収合併、また一三八ページで間接的に事故の原因となったと述べたピードモントのUSエアへの吸収合併もこのような過程で起こった。

各航空会社は有利な市場を求めて路線の編成変えを行ったのだ。また、中小の空港間を直接結ぶのではなく、各地域に集客センター（ハブ空港）を設け、そこへ小空港からの客を集中して他のハブ空港に輸送するというハブ・スポーク型の路線運営に転換した。

このようにして、路線構造に大きな変化が起こった。その結果、特定の基幹路線が混雑し、スケジュールの遅れが日常化するようになった。管制官の不足も深刻になったが、その養成は一朝一夕にはできない。このように、規制を緩和して市場を自由化し、競争を促進するには、競争基盤としてそれに見合った空港や航行支援設備を整備しなければならないのだが、それに対し十分な社会資本の投資が行われなかったのである。そのため、競争基盤の弱点が露呈した




VI-2　米国航空会社の消長

のだ。

競争運賃は、どこでも安くなったのではない。大手航空会社に牛耳られたハブ空港から運航する路線では逆に運賃が上がり、サービスもみるみる低下した。しかし、空の旅では最大のサービスは安全である。合併したり急成長した会社で、乗員の規律の維持が問題になることは、前述した通りである。統計で見る限りは、規制緩和後航空事故が顕著に増えたということはないが、個々の航空会社でみると、安全管理面の格差は起こり得る。

最近でもデルタ航空が、規則で定められた安全点検を怠って罰金を取られたり、USエアが警報装置故障のまま運航を続けて立入検査を受けたりしている。そのせいか、米国では最近、利用者の間に安全な航空会社を選ぶ傾向が現れたという。しかし、どれが安全な会社かを判断することは非常にむずかしい。無事故記録を長く続けている会社が安全とはいえない。事故の直後は緊張感が高まるが事故がない状態が続くと次第に弛緩し、それが次の事故の発生条件をつくるというのが、過去に経験された事実である。

天災だけでなく、事故も忘れた頃にやってくるのである。確実にいえることは、いま現在、真剣に安全確保を全社的に取り組んでいる会社が、安全な会社であるということである。しかし利用者個人が、これについて判断ができるとは思えない。また、このような心配をしながら飛行機に乗らなければならない状況は利用者にとって好ましいものではない。公的機関の最小

限の介入は必要と思われる。
今、ヨーロッパ諸国では自由化されたEC市場の中で、各国（とくに独仏）の航空会社の間で熾烈な価格競争がはじまった。「米国の自殺的な前例にならった」という嘆きの声も聞かれる。カーター政権の下で規制緩和政策を推進したコロンビア大学のカーン博士は、最近、ブラッセルで講演を行い、規制緩和は低運賃、目的空港数と便数の増大の点で米国の旅行者に大きな利益をもたらしたものの、多くの航空会社の倒産、サービスの低下、運賃格差などの予期しない結果を招いたことを認め、ヨーロッパはこの轍を踏んではならない、と警告している。
日本でも、従来行われてきた行政による競争規制が内外から批判されており、先進諸国から市場自由化の「外圧」が強まっている。最近、ある新聞で米国の駐日大使と運輸省高官が日米航空協定について論争していた。米大使は「協定で最も肝心なことは競争の条件を明確にすることである」として、以遠権問題を含めて航空輸送市場で競争を促進することを主張した。これに対し、日本側は「過剰な競争は航空市場の健全性、とくに航空安全の観点からみて好ましいものではない。現協定は日米間に不平等と不均衡をもたらすしくみがあり、改訂を要する」と述べていた。このように、日米の考えは競争に関してはかなりの隔たりがある。
しかし、政府部内でもいろんな考えがあるようで、公正取引委員会の主宰する事業者団体問題研究会は報告書を作成し、その中で次のように述べている。

「国民の安全、健康の確保、災害の防止等の社会目的を有する行政指導についても、市場条件に影響を及ぼす場合には、行政指導を受けた団体のカルテルを誘導するおそれがあるので注意を要する」

今後、わが国の航空輸送も世界規模の自由化の波を受けないわけには行くまい。価格競争と安全の両立は規制緩和時代の航空輸送業に課せられた難しい課題である。

# おわりに

ジェット輸送機の技術は前世界大戦の遺産である。多くの人命と資源の犠牲のうえに築かれた技術なのだ。当時の先端技術であったこの航空技術は、まず軍用機による運用経験を経て成熟したのち、民間輸送機に適用されるという好運な経過をたどった。その後、民間航空が驚異的な発展を遂げ、公共交通機関として成立した結果、公共的使命から高度の経済性、安全性、低公害性を追求する技術が必要になった。しかし、その技術の熟成は軍用機に頼ることができない独自のものであった。

未成熟な技術の実用化はリスクが大きい。超音速旅客機コンコルドの営業的失敗はその実例である。大西洋横断の片道運賃は五〇万円を超えるが、この高運賃をもってしても英仏両国が負担した巨額の開発費は償却できないという。スピードを買うのに金に糸目をつけない人は、いるかもしれないが、その数は限られている。

亜音速ジェット輸送機は、その後第二世代から第三世代へと発展したが、その技術には本質的な飛躍がなかったため、順調に発展することができた。航空輸送の定時性（全天候性）と経済性に対する社会的要求の高まりに応えて、第四世代のジェット輸送機では巨大化と自動化が進んだ。システムが巨大化するに伴い、それを構成する多数のサブ・システムに発生した小さ

なエラーがシステム全体の事故に発展する、いわゆるシステム性事故が現れた。巨大機の事故により発生する人的、および物的損害は巨額になるから、膨大な数の電子、機械部品の信頼性に対する要求が高まるのは当然である。また、構造を軽くするため、構造強度に余裕がなくなり、そのため厳密な点検整備が機体の安全確保には必須となった。整備員には少しのミスも許されなくなった。

製造、運用、整備の全般にわたるこれほどの高信頼性の技術は他に類を見ないもので、軍用はもちろん、民用の地上技術からの転用によっては、賄うことができないものであった。このようにして民用航空技術はかつての成熟の場を失ない、直接、運用によって熟成せざるを得なくなったのである。

高度に自動化され、ブラックボックス化したシステムに人間的要素をどうマッチさせるかは、その一つの例である。パイロットはこの巨大システムの一要素として組み込まれたが、その中では人間固有の優れた能力よりも弱点が露呈される状況が現れ、その弱点の矯正が新しい課題になった。人間的要素が問題になっているのは整備の現場でも同様である。

そこで、人間的要素の改造が航空技術の最後のフロンテアであるとさえいわれているのだ。航空従事者のすべてに厳しい訓練と規律が要求されているが、これは社会の一般的風潮に逆行する。規律を嫌い、自由に馴れた今日の風潮のなかでは、適格者を選別し訓練することがます

ます重要になる。しかし、ギリシャ時代と比べて、社会経済や諸科学に進歩はあっても、人間性にそれほどの改善はなかったことを考えると、この課題の解決は生やさしいものではない。そのような方向よりは、人間の弱点が機械でカバーされ、長所は十分発揮されるようなシステムを指向することのほうが、より多くの希望があるように思われる。

本書を執筆するに当たってわが国の航空学会、航空技術協会、航空三社の刊行物を参考にさせて頂いた。とくに、運航現場の経験から得られた情報はこのうえなく貴重なものであった。ここに、深く感謝の意を表するものである。

一九九四年　春

遠藤浩

〈は行〉



〈ま行〉



〈や行〉



〈ら行〉



〈わ行〉

〈た行〉



〈な行〉

〈さ行〉

## さくいん

### 〈あ行〉



### 〈か行〉

## 科学をあなたのポケットに——発刊のことば

二十世紀最大の特色は、それが科学時代であるということです。科学は日に日に進歩を続け、止まるところを知りません。ひと昔前の夢物語もどんどん現実化しており、今やわれわれの生活のすべてが、科学によってゆり動かされているといっても過言ではないでしょう。

そのような背景を考えれば、学者や学生はもちろん、産業人も、セールスマンも、ジャーナリストも、家庭の主婦も、みんなが科学を知らなければ、時代の流れに逆らうことになるでしょう。

ブルーバックス発刊の意義と必然性はそこにあります。このシリーズは、読む人に科学的に物を考える習慣と、科学的に物を見る目を養っていただくことを最大の目標にしています。そのためには、単に原理や法則の解説に終始するのではなくて、政治や経済など、社会科学や人文科学にも関連させて、広い視野から問題を追究していきます。科学はむずかしいという先入観を改める表現と構成、それも類書にないブルーバックスの特色であると信じます。

**ブルーバックス** B-1019

飛行機はなぜ落ちるか

設計者からみた航空システムの安全性

1994年5月20日 第1刷発行
1994年6月20日 第2刷発行

著者 遠藤（えんどう） 浩（ひろし）
発行者 野間佐和子
発行所 株式会社 講談社
東京都文京区音羽二丁目12-21
郵便番号 112-01
電話 03 (5395) 3524 (編集部)
03 (5395) 3626 (販売部)
03 (5395) 3615 (製作部)

本文印刷・慶昌堂印刷　カバー，表紙・双美印刷　製本・中沢製本



ISBN4-06-257019-X (科)

定価はカバーに表示してあります。



えんどう・ひろし

一九三〇年福島県生まれ。理学博士。太平洋戦争中に動員された飛行機工場で終戦を迎える。東北大学卒業後、中央気象台に入所。航空機研究再開後、航空技術研究所に移り、風洞建設、国産機開発支援研究に従事する。ロンドン大学航空学科に留学し、SSTコンコルド、VTOLハリヤーの開発を見聞する。帰国後、国産機T四、および国際共同開発のB七六七の開発に協力。副所長として、スペースプレーンの基礎研究を推進する。退官後、航空輸送をトータルシステムの観点から研究している。

ISBN4-06-257019-X
C0253 P760E (0)
定価——760円(本体738円)

墜落原因は1つではない



